

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA EL  
ENFARDADO Y ENSILADO DE FORRAJES**

GUSTAVO ANDRÉS GIL GONZÁLEZ

Trabajo de Grado para optar el Título de  
*Ingeniero en Mecatrónica*

Director  
Ing. Ricardo Castillo MS.c

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2013

**Nota de aceptación:**

El trabajo de grado titulado “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA EL ENFARDADO Y ENSILADO DE FORRAJES”, elaborado y presentado por el estudiante Gustavo Andrés Gil González, como requisito para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica, fue aprobado por el jurado calificador.

---

**Prof. Ing. Ricardo Castillo M.Sc**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Bogotá 21 de Marzo de 2013

## **DEDICATORIA**

Este documento va dedicado primero a DIOS porque gracias a él estoy aquí con la oportunidad de desarrollar una serie de actividades de mi agrado que me permitirán en un futuro ser una persona de bien para esta sociedad y seguir desarrollando poco a poco mi proyecto de vida; por otro lado y en segunda instancia todo esto no sería posible sin la ayuda de mis padres, Gustavo Eduardo Gil Villamarin y Luz Miriam González Gaitán, esto se los debo a ustedes por ser quienes se encargaron de mi formación como persona en todos los aspectos y me dieron las herramientas y consejos necesarios para llegar a donde estoy y ser quien soy al día de hoy, Los Amo con todo mi Corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece a:

Ingeniero Ricardo Castillo por su asesoría y fuente guía para el correcto y satisfactorio desarrollo del prototipo.

Ingeniero Hernán Salamanca por colocar a disposición sus conocimientos en el área agrícola que permitieron realizar los estudios detallados y específicos buscando el mejor camino para el desarrollo del prototipo.

Compañeros y amigos de carrera quienes ayudaron de una u otra manera aportando ideas o solucionando problemas durante el proceso de construcción del prototipo y sus aplicaciones.

Laboratoristas del Centro de Mecanizado de la Universidad Militar Nueva Granada quienes estuvieron presentes durante todo el proceso de construcción del prototipo, sus ideas y experiencia en el taller brindaron múltiples soluciones a problemas encontrados en el camino.

.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS .....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1. METODOLOGÍA .....	18
1.1 ESTUDIO Y EVALUACIÓN A FONDO DE LOS ANTECEDENTES: .....	18
1.2 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO A UTILIZAR: .....	18
1.3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y COMANDO: .....	19
1.4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA:.....	19
1.5 EVALUACIÓN - RELACIÓN ENTRE COSTO Y FUNCIONALIDAD:.....	20
1.6 INTEGRACIÓN Y EMPALME DE TODAS LAS FASES DE TRABAJO: .....	20
1.7 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO E IMPLEMENTACION DE POSIBLES MEJORAS: .....	21
2. MARCO REFERENCIAL .....	22
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA .....	22
2.1.1 REVISIÓN Y CONSULTA DE PATENTES .....	22
2.1.2 ESTADO DEL ARTE .....	23
2.2 MARCO TEÓRICO .....	28
2.2.1 MARCO CONTEXTUAL.....	28
2.2.2 MARCO CONCEPTOS MECATRÓNICOS .....	29
2.2.3 MARCO CONCEPTOS DE APLICACIÓN.....	33
3. DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	35
3.1 APLICACIÓN DE QFD.....	35
3.1.1 IDENTIFICACIÓN NECESIDADES DEL CLIENTE.....	35
3.1.2 EVALUACIÓN MATRICIAL DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO..	37
3.2 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	39
3.2.1 REALIZACIÓN BOCETOS A MANO E IDENTIFICACIÓN VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO. ....	39

3.2.2 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS EXISTENTES. ....	46
3.2.3 REALIZACIÓN DEL DISEÑO CAD A PARTIR DEL BOCETO ESCOGIDO DE ACUERDO A SU FUNCIONALIDAD.....	50
3.2.4 SIMULACIÓN SISTEMA MECÁNICO .....	56
3.2.5 VISTA GENERAL PROTOTIPO.....	61
3.3 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA.....	62
3.3.1 CÁLCULO FUERZA DE COMPACTADO:.....	62
3.3.2 SISTEMA DE COMPACTACIÓN: .....	65
3.3.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN: .....	70
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y COMANDO. ....	73
4. IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	75
4.1 IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN SISTEMA MECÁNICO. ....	75
4.1.1 PLATAFORMA SUPERIOR: .....	75
4.1.2 PLATAFORMA INFERIOR:.....	76
4.1.3 SOPORTE CENTRAL: .....	76
4.1.4 BRAZO SOPORTE ACTUADOR ELÉCTRICO:.....	77
4.1.5 CONJUNTO DE ESTRUCTURAS:.....	77
4.1.6 SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN: .....	78
4.2 AJUSTE Y PRUEBAS ACTUADOR ELÉCTRICO. ....	78
5. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	80
5.1 PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD .....	80
5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	81
6. CONCLUSIONES.....	83
7. BIBLIOGRAFIA .....	84
8. TRABAJOS FUTUROS .....	88
9. ANEXOS .....	89
9.1 QFD (DESARROLLO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD). ....	89
9.2 BOCETOS SISTEMA EN GENERAL.....	91
9.3 CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ACTUADOR ELÉCTRICO. ....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valoración Atributos del Cliente .....	36
Tabla 2 QFD del sistema De compactado.....	38
Tabla 3 Evaluación Características de los Bocetos Planteados.....	45
Tabla 4 Comparación y evaluación con otros sistemas existentes. ....	49
Tabla 5 Ventajas y Desventajas Actuadores Sistema de Compactación [40], [41]. .....	65
Tabla 6 Características de Funcionamiento Equipos .....	82
Tabla 7 Datos Numéricos Valoración Mecanismos .....	90
Tabla 8 Evaluación Características Bocetos .....	94

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Valoración Atributos del Cliente .....	37
Ilustración 2 Boceto Mecánico No 1 .....	40
Ilustración 3 Boceto Mecánico No 2 .....	41
Ilustración 4 Boceto Mecánico No 3 .....	43
Ilustración 5 Mecanismo Silo Fácil 1 .....	46
Ilustración 6 Mecanismo Silo Bolsa de Palanca Manual .....	47
Ilustración 7 Mecanismo Silo Prensa .....	47
Ilustración 8 Comparación y evaluación con otros sistemas existentes .....	48
Ilustración 9 Plataforma Superior Prototipo .....	50
Ilustración 10 Plataforma Inferior Prototipo .....	51
Ilustración 11 Sistema de Amortiguación Prototipo .....	51
Ilustración 12 Sistema de Amortiguación Delantero .....	52
Ilustración 13 Soporte Central Estructura Sistema de Compactado .....	53
Ilustración 14 Soporte Actuador Eléctrico .....	53
Ilustración 15 Vista General Acople Plataformas con Sistema de Amortiguación .	54
Ilustración 16 Tolva Guía Bolsa de Silo .....	55
Ilustración 17 Tolva Guía Heno. ....	55
Ilustración 18 Simulación Estudio Estático y de Pandeo .....	56
Ilustración 19 Mallado Simulación .....	57
Ilustración 20 Detalle Malla .....	57
Ilustración 21 Simulación Gráfico de Tensiones .....	58
Ilustración 22 Simulación Gráfico de Desplazamientos .....	59
Ilustración 23 simulación Gráfico Factor de Seguridad .....	59
Ilustración 24 simulación Trazado Comprobación de Fatiga .....	60
Ilustración 25 simulación Pandeo Desplazamiento .....	61
Ilustración 26 Vista General Sistema Mecánico .....	62
Ilustración 27 Tizón de Madera Utilizado en el Proceso Artesanal .....	63
Ilustración 28 Sistema de Compactado Electrohidráulico .....	66
Ilustración 29 Sistema Hidráulico En Estado de Reposo .....	67
Ilustración 30 Accionamiento Eléctrico Sistema Hidráulico .....	67
Ilustración 31 Sistema Electro-Hidráulico en Funcionamiento .....	68



Ilustración 32 Actuadores Firgelli Automations.....	69
Ilustración 33 Actuadores Progressive Automations .....	69
Ilustración 34 Batería 12 Voltios x 12 Amperios Hora .....	70
Ilustración 35 Simulación Control de Giro Proteus Isis.....	71
Ilustración 36 Visualización 3D PCB .....	72
Ilustración 37 Control de Giro PCB impreso.....	72
Ilustración 38 Cargador Batería 12 Voltios x 12 Amperios .....	73
Ilustración 39 Caja de Mando Sistema de Compactado.....	74
Ilustración 40 Plataforma Superior .....	75
Ilustración 41 Plataforma Inferior.....	76
Ilustración 42 Soporte Central .....	76
Ilustración 43 Brazo Soporte actuador eléctrico. ....	77
Ilustración 44 Conjunto Ensamble Estructuras.....	78
Ilustración 45 Componentes Sistema de Amortiguación .....	78
Ilustración 46 Actuador Eléctrico 12 12 .....	79
Ilustración 47 Rendimiento de los equipos Ton/Hora .....	82
Ilustración 48 Evaluación y Comparación de prioridades Mediante QFD.....	89
Ilustración 49 Especificaciones Técnicas Actuador Eléctrico .....	95
Ilustración 50 Planos y Dimensiones Actuador Eléctrico.....	96

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Deformación del material .....	32
Ecuación 2 Segunda Ley de Newton .....	32
Ecuación 3 Esfuerzo .....	32
Ecuación 4 Potencia.....	33
Ecuación 5 Presión de Compactado .....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS

- **CAD:** (Computer Aided Design) Diseño asistido por computador.
- **CATIE:** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- **CORPOICA:** Corporación Colombiana de investigación agropecuaria.
- **ITACAB:** Instituto de transferencia de tecnologías apropiadas para sectores marginales.
- **QFD: (Quality Function Deployment)** Despliegue de la función Calidad.
- **FAO: (Food and Agriculture Organization of the United Nations)** Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
- **PSI:** (Pound Square Inch) Libra por pulgada cuadrada.
- **FDS:** Factor de Seguridad.

## RESUMEN

El siguiente documento contiene el desarrollo de un mecanismo compactador ya sea neumático, hidráulico o eléctrico que busca facilitar el proceso de enfardado y ensilado de forrajes en el campo colombiano, especialmente para aquellos pequeños productores que utilizan dichos suplementos alimenticios para la manutención interna de sus fincas; el desarrollo está enfocado para la producción de silo en bolsas aproximadamente de 45 Kg y de pacas de heno cuadradas de unas dimensiones ya definidas y un peso aproximado de 5 Kg, por otro lado, se determina el uso para aquel pequeño productor que dentro de sus terrenos ubica una topografía variada donde no es posible utilizar maquinaria robusta debido a la irregularidad de su terreno. Entrando en detalles se subdivide el documento en 3 etapas importantes que se describen a continuación:

La primera etapa identifica e investiga a fondo acerca de los antecedentes y el estado del arte, que permite observar los estudios y mecanismos que se han hecho a nivel mundial y más propiamente a nivel nacional sobre la misma temática; esta etapa es bien importante debido a que sirve de guía, para el desarrollo y posterior planteamiento de los bocetos sobre los cuales se piensa trabajar, y así llegar a un diseño final que cuente con las mejores características de cada equipo estudiado y por ende cumpla con el objetivo final del proyecto.

La segunda etapa ubica todo el estudio, desarrollo y aplicación de ingeniería, debido a que se centra en la metodología del trabajo, que contiene todos los procesos, cálculos matemáticos y mecánicos que corresponden al mecanismo diseñado, además de todo lo relacionado con el sistema eléctrico y de potencia a implementar para lograr que la unión de todas las etapas independientes funcione adecuadamente y cumpla con los objetivos del proyecto.

Por último la tercera etapa contiene todo el análisis de resultados obtenidos con la prueba y puesta en marcha del mecanismo desarrollado además de las conclusiones, sugerencias y posibles recomendaciones que se puedan presentar.

**Palabras claves:** Mecanismo Electro-Neumático, Enfardado, Ensilado.

## ABSTRACT

The following document contains the development of a compacting mechanism either pneumatic, hydraulic or electric that seeks to facilitate the process of baling and silage fodder in the Colombian countryside, especially for those small producers who use these supplements for the internal handling of their farms ; development is focused to produce bags Silo approximately 45 kg and square bales of hay and defined dimensions and a weight of approximately 5 kg on the other hand, it is determined that the use for producing small that within its varied topography located land where you cannot use machinery robust due to the irregularity of their field. In detail the document is subdivided into three major steps that are described below:

The first stage identifies and investigates in depth about the history and state of the art provides insight and mechanisms studies that have been done worldwide on the same topic, this step is very important because it serves as a guide to approach and subsequent development of the sketches on which you plan to work, and arrive at a final design that has the best features of each team studied and thus meet the final goal.

The Second Stage Study Locates whole, Development and Engineering Application, because it focuses on the methodology of the work, which contains all processes, mathematical calculations and the corresponding mechanical mechanism designed, in addition to everything related to the electrical system and power to implement to achieve the union of all stages independent functioning and meet project objectives.

Finally the third stage contains the entire analysis of the test results and implementation of the mechanism developed in addition to the findings, suggestions and any recommendations that may arise.

Keywords: Electro-Pneumatic Mechanism, Stretch, Silage.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de almacenamiento de forrajes, es una actividad agrícola importante en Colombia, ya que el consumo de este tipo de suplementos alimenticios por diversos animales de granja tales como bovinos y equinos, demuestran su calidad nutricional y la factibilidad que se presenta para ser almacenados por largos periodos de tiempo y así suplir las necesidades alimenticias de las fincas en el país durante los periodos de sequía o de inviernos extremos, como los observados los últimos años. *“Los objetivos de la técnica de ensilado no han cambiado, básicamente, desde que fueron definidos por A. Virtanen en el primer tercio del siglo pasado, quien los sintetizo en: a) Conservar el Forraje con un mínimo de Pérdidas y b) obtener un producto de alto valor nutricional”*<sup>1</sup> [1].

Actualmente este proceso se ve afectado por los altos costos de la maquinaria robusta importada del extranjero y por la deficiencia presentada al realizar todo el trabajo de una manera manual o artesanal que se viene practicando en el país, a esto es importante sumarle el hecho de que en muchos departamentos, el país no cuenta con una topografía regular y más bien son terrenos de difícil acceso para la mayoría de maquinarias, por eso el pequeño productor se ve obligado a realizar todo el proceso de forma manual y de alguna manera implica pérdida de tiempo y dinero; Por ende es necesario estudiar, plantear, diseñar y construir alternativas viables y exitosas para el manejo de este tipo de alimentos, ya que en estos momentos son muy pocos los desarrollos realizados en esta materia y aun así sigue siendo un proceso costoso adquirir el mecanismo para el ensilado y el enfardado de todo tipo de forrajes.

La innovación y el desarrollo tecnológico en el ámbito agrícola se ha convertido en un patrimonio muy valioso para las economías y sociedades modernas, y es por eso que cada vez se hace imperativo el apoyo bien sea público o privado a cualquier iniciativa de desarrollo que involucre la tecnología como pilar fundamental para la construcción de sociedades más incluyentes y prosperas; por esta razón se plantean una serie de soluciones para las miles de aplicaciones que tiene el ámbito agrícola, llegando así al objetivo principal de este proyecto en donde se pretende satisfacer las necesidades presentadas por el usuario en el sistema de enfardado y ensilado de forrajes como alimento suplementario en épocas de escasez para todo tipo de animales de granja y más aún para pequeños productores con terrenos de difícil topografía.

---

<sup>1</sup> Gonzalo Flores Calvete, "Factores que Afectan a la Calidad del ensilaje de Hierba y a la Planta de Maiz Forrajero en Galicia y Evaluación de métodos de Laboratorio para la Predicción de la Digestibilidad in vivo de la materia Orgánica de estos Forrajes Ensilados," Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Tesis Doctoral ISBN 84-87432, 2004.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad del campo colombiano se requieren soluciones prácticas y modernas a los problemas presentados en el momento de realizar operaciones de enfardado y ensilado, que son procesos de compactado y almacenamiento de forrajes, fuentes fundamentales para la alimentación principalmente de bovinos y equinos en épocas de sequía o de fuertes inviernos como los vistos los últimos años ocasionados por el cambio climático; por otro lado debido al costo elevado para la compra de la maquinaria necesaria para realizar este proceso, es imposible que pequeños productores adquieran el mecanismo y por esta razón muchas veces optan por alquilarlo, sacrificando así parte de la cosecha debido a que es el único medio de pago con el que cuentan; este tipo de maquinarias robustas han sido diseñadas para el uso en terrenos planos y de gran magnitud por ende el pequeño productor que cuenta con un terreno de difícil topografía se le hace imposible el poder utilizar esta maquinaria y se obliga a realizar todo el proceso manual de una forma artesanal, lo cual es muy desgastante e ineficiente debido a que no se ven reflejadas las ganancias con respecto a la inversión. ¿Es posible desarrollar equipos nacionales a bajo costo para contribuir en el desarrollo agrícola del país y de sus habitantes?

## JUSTIFICACIÓN

El desarrollo agrícola en el país ha tenido gran auge debido a la producción interna que se presenta, por ende es muy importante contar con maquinaria confiable y económica que permita a los pequeños productores de forrajes explotar de manera adecuada y segura los terrenos que tienen de acuerdo a su especialidad; cabe decir que el país cuenta con terrenos de difícil topografía y muchas veces se hace imposible el transporte y utilización de maquinarias más robustas para desarrollar los procesos necesarios de siembra, cosecha y almacenaje entre otros.

Este prototipo busca por un lado facilitar y acelerar los procesos de almacenamiento de forrajes conocidos como enfardado y ensilado utilizados mayormente en la alimentación de bovinos y equinos gracias a su alto nivel nutricional y su capacidad de almacenaje por periodos extendidos de tiempo; por otro lado se quiere mejorar la calidad de vida de las personas que se dedican a realizar este tipo de actividades en el campo, ya que podrán contar con el total de su producción sin necesidad de darla como forma de pago al alquilar alguna máquina robusta recolectora y enfardadora. También se busca dar a conocer el funcionamiento del equipo y dejar ver las facilidades y beneficios que podrá traer a la comunidad interesada o a aquellas personas que se dedican a desarrollar este tipo de productos alimenticios para la manutención propia de sus animales; Para finalizar es importante destacar que en los últimos años Colombia ha firmado una serie de tratados de libre comercio con otros países, lo cual implica desarrollar procesos más eficientes y competitivos que busquen mantener la producción agropecuaria en un nivel alto y no dejar que dichos tratados arroyen y acaben con la producción interna que se presenta.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un prototipo a escala para optimizar el proceso de compactado de forrajes usados para la alimentación de bovinos y equinos.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Analizar el sistema artesanal de ensilado y enfardado de forrajes y plantear soluciones para optimizar el proceso.
- ✓ Diseñar y simular las soluciones planteadas para descartar fallas y errores no previstos en el desarrollo de sistemas de compactado para pacas de heno de 5 Kg y bolsas de silo de 45 Kg.
- ✓ Implementar la propuesta planteada para verificar que cumple con las especificaciones y necesidades presentadas en el proceso de compactado en el almacenamiento de forrajes.
- ✓ Evaluar el sistema propuesto y realizar las correcciones necesarias para mejorar el prototipo.

## **1. METODOLOGÍA**

La Ingeniería Mecatrónica debe su nombre a que vincula diferentes habilidades de ingeniería, tales como el uso de las matemáticas, el diseño, la electrónica, la mecánica y la solución de problemas entre otras, para mejorar la calidad de vida de las personas en los diferentes campos encontrados en el mundo a partir de investigación, simulación y desarrollo de prototipos; para la solución de la problemática planteada en el proyecto se aplican los conocimientos de diferentes ramas de la carrera y se vinculan así:

### **1.1 ESTUDIO Y EVALUACIÓN A FONDO DE LOS ANTECEDENTES:**

Relaciona toda la parte que tiene que ver con el estudio de mercadeo y con el estudio de los sistemas ya existentes que se encuentran funcionando en el momento, por otro lado se encarga del estudio y revisión de patentes tanto nacionales como internacionales y lo que se está desarrollando actualmente en el mismo campo y contempla las siguientes actividades:

- ✓ Consulta en la Superintendencia de Industria y Comercio acerca de las patentes nacionales e internacionales ya existentes en la materia y si es posible las que están en proceso de patentando.
- ✓ Estudio a fondo de los sistemas que actualmente existen y funcionan de acuerdo al mismo principio trabajado en el proyecto.
- ✓ Estudio de la relación entre costo de fabricación y producción para buscar maneras de dar buena utilidad y rendimiento al personal que vaya a disponer del equipo.

### **1.2 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO A UTILIZAR:**

Comprende todo lo relacionado con la parte de diseño, corrección y evaluación del sistema mecánico a proponer, además de la simulación del mismo y su aplicación.

- ✓ Realización de bocetos a mano para darle solución al problema mecánico.

- ✓ Evaluación de los bocetos y realización de las correcciones pertinentes.
- ✓ Realización del diseño CAD a partir del boceto escogido de acuerdo a su funcionalidad.
- ✓ Correcciones pertinentes al CAD y cambios necesarios a realizar.
- ✓ Selección por medio de simulación del material a utilizar en la construcción del prototipo, además de las tolerancias y ajustes finales del diseño.
- ✓ Estudio y evaluación del comportamiento del sistema mecánico a partir de un análisis por elementos finitos.

### **1.3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y COMANDO:**

Se encarga de toda la parte relacionada con el sistema de supervisión del funcionamiento del mecanismo, además del sistema a implementar con los comandos adecuados de funcionamiento para ambas aplicaciones.

- ✓ Estudio y realización de los posibles sistemas de supervisión y comando, tanto para el compactado como para el manejo adecuado del dispositivo.
- ✓ Simulación y desarrollo del sistema escogido de acuerdo a los componentes y su funcionalidad.

### **1.4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA:**

Busca relacionar el sistema de potencia utilizado, permitiendo así hacer los cálculos para la selección de los equipos necesarios para un buen funcionamiento, además del cableado a utilizar en el mecanismo y la distribución en el mismo, contando con unas etapas definidas así:

- ✓ Selección y escogencia del sistema de compactado neumático, hidráulico o eléctrico además de los materiales a utilizar.
- ✓ Simulación del sistema de compactado y realización de correcciones pertinentes al caso.
- ✓ Definición del sistema y materiales utilizados para el cableado y formulación del acople a realizar a la parte mecánica para el correcto funcionamiento.

### **1.5 EVALUACIÓN - RELACIÓN ENTRE COSTO Y FUNCIONALIDAD:**

Se encarga de realizar las correspondientes cotizaciones de los materiales a utilizar para cada una de las etapas y definir si son viables los precios con respecto a la funcionalidad, teniendo así unas etapas:

- ✓ Definición por etapas de cada componente a utilizar y realización de la cotización.
- ✓ Verificación de costos y evaluación costo versus funcionalidad para determinar el orden de compra de los materiales y la prioridad de cada uno de ellos.

### **1.6 INTEGRACIÓN Y EMPALME DE TODAS LAS FASES DE TRABAJO:**

Comprende lo relacionado con la unión y empalme de cada una de las etapas de trabajo así:

- ✓ Unión de las etapas de trabajo y correcciones pertinentes de acuerdo a los posibles errores encontrados y corrección de los mismos.

## **1.7 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO E IMPLEMENTACION DE POSIBLES MEJORAS:**

En esta última etapa de trabajo se va a disponer del prototipo construido y la realización de labores con el mismo para obtener una relación entre funcionamiento, calidad y duración para determinar posibles daños a futuro y correcciones a realizar teniendo así:

- ✓ Prueba del dispositivo con cada uno de los forrajes existentes y verificación de funcionamiento.
- ✓ El dispositivo cuenta con 2 etapas diferentes, por ende se realizan pruebas repetitivas tanto al compactar bolsas de silo como pacas de heno y se determina el funcionamiento del mismo de acuerdo a lo trabajado.
- ✓ Se trabaja el dispositivo al máximo de su capacidad y se establece su rendimiento a partir de datos obtenidos durante la práctica como la cantidad de bolsas de silo compactadas en una hora.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

#### 2.1.1 REVISIÓN Y CONSULTA DE PATENTES

A continuación se presentan algunas de las patentes nacionales e internacionales relacionadas con el proyecto planteado con similitudes en el sistema de compactado y el funcionamiento del mecanismo, objetivo final del estudio.

La patente a referenciar, está dada como una solicitud de modelo de utilidad, fue presentada en el registro de propiedad industrial de España y asignada por 20 años, su título es “Maquina enfardadora automática”. De manera breve las principales características con las que cuenta el dispositivo son una plataforma horizontal y giratoria, bandas continuas de película que distribuyen el material plástico alrededor de silo y unas bobinas verticales de alimentación [2].

La siguiente patente que se encuentra en proceso de desarrollo en Colombia aporta una serie de ideas innovadoras, fue solicitada como una patente de invención ante la Superintendencia de Industria y Comercio en el sistema de nuevas creaciones, lleva por título “Maquina para producir silos en bolsas plásticas de hasta 100 Kg” y se destacan entre sus características principales que maneja un sistema de compactado neumático, tiene dos recipientes de llenado y una pieza giratoria [3].

El modelo patentado en Estados Unidos para el ensilado de forrajes se titula “*Machine for loading silage bag*”, dentro de sus principales características, maneja un silo tipo bunker y lo que se plantea es la forma de llenado del mismo a partir de una serie de tractores que se encargan del transporte de las bolsas de silo y los arruman de manera adecuada [4].

El modelo patentado en Estados Unidos denominado "Manufacturing Process and End Product of Vacuum Packed Silage", entra en detalles de los procesos consecutivos u operaciones sucesivas que empiezan por una etapa de cosecha y picado, embalaje del forraje, una fase de prensado, una fase de vacío y por ultimo una fase de almacenamiento, además deja ver un modelo opcional para la realización del dispositivo que se encargará de las fases mecánicas para optimizar el proceso de almacenamiento de todo tipo de silos [5].

“Máquina moledora ensiladora de cereal con alta humedad”. Patentada en el año 2008 en la república de Argentina como un modelo de utilidad independiente a partir de un sistema que consta de tres etapas: trituración, compactación y almacenaje produce alimentos para porcinos con un alto valor nutricional. [6]

## 2.1.2 ESTADO DEL ARTE

En esta sección se encuentra parte de la información correspondiente al estado del arte y los estudios y avances que se han venido desarrollando en los últimos tiempos para suplir las necesidades presentadas en el campo agrícola a nivel mundial; a continuación se relacionan una serie de artículos y documentos que ayudaron a tomar decisiones y pautas en cuanto a las ideas de diseño e implementación del prototipo teniendo así:

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), realizó un manual técnico en Managua sobre la elaboración y utilización de los métodos de ensilaje más comunes y resaltan en uno de sus títulos denominado tercer paso, en donde se trata de definir las necesidades en cuanto a personal, materiales y maquinaria necesaria para la preparación del silo y deja evidenciar que es un proceso bastante extenso debido a que requiere una mano de obra bastante amplia y eficaz para no dejar dañar el material a ensilar, por otro lado el proceso por más personas que hayan trabajado en él, se estima que se pueden tardar hasta 3 días para ensilar 10 toneladas contando con un grupo de 10 personas realizando todo el proceso manualmente [7].

En diciembre de 2008, investigadores de la Universidad Tecnológica de Pereira publicaron un artículo denominado “*DISEÑO DE MÁQUINA PARA EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE: DOSIFICADO Y COMPACTADO*”<sup>2</sup> el cual muestra desde un punto de vista de ingeniería una serie de pasos necesarios para realizar el proyecto y llevarlo a buen término, teniendo en cuenta algunos cálculos pertinentes que toca realizar tales como la presión del cilindro o embolo encargado del compactado, cálculo del compresor a utilizar y otra serie de componentes mecánicos opcionales para una mejor implementación del prototipo [8].

De acuerdo con el artículo, es bastante interesante el hecho de relacionar e identificar los tipo de tecnologías que se encuentran en el aspecto agrícola

---

<sup>2</sup> MARLON JHAIR HERRERA, JOANNI MEDINA, DISEÑO DE MÁQUINA PARA EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE: DOSIFICADO Y COMPACTADO Scientia et Technica Año XIV, No 40, Diciembre de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.

para el mundo entero, por esta razón se vio importante citar este documento de internet denominado “Tecnología apropiada para la agricultura” que da a conocer ciertas características y limitaciones con las que cuentan los sistemas para entrar dentro de una clasificación tecnológica dada de la siguiente manera:

✓ Tecnología alternativa:

Es una variable importante al diseñar una tecnología y vincula un conjunto de técnicas en donde prevalece los procesos simples y descentralizados que requieren un mínimo de especialización y su producción viene dada a pequeña escala; utilizan técnicas no contaminantes y recuperan los recursos naturales no renovables.

✓ Tecnología intermedia.

Es una tecnología que permite el paso transitorio entre una tecnología inferior hacia una superior o mas eficiente.

✓ Tecnología dominante.

Es una tecnología netamente centralizada que contempla técnicas complejas y exige la participación de especialistas para los diferentes procesos, es una tecnología utilizada a gran escala y lamentablemente contribuye al deterioro y agotamiento de los recursos naturales no renovables.

✓ ECO-tecnologías.

*“Son técnicas que permiten una valoración de los recursos naturales locales disponibles, asegurando a la vez su conservación o renovación, así como el mantenimiento de los equilibrios ecológicos, considerando el contexto cultural de las fuerzas productivas disponibles.”<sup>3</sup>*

✓ Tecnologías apropiadas.

Este tipo de tecnologías vienen encaminadas a promover el desarrollo y satisfacer las necesidades de la población o de los sectores más desprotegidos de una región o país, de donde se determina que la rentabilidad no es su motivo principal de invención y desarrollo.

---

<sup>3</sup> O. Nuñez y P. Serrano, 1999, pág. 7 Online. <http://www.mineduc.cl/biblio/documento/LibroCampo.pdf>.



De este tipo de tecnologías que se encuentran en el ámbito agrícola, se puede clasificar el producto u objetivo final de este proyecto, como una Tecnología apropiada debido a que cuenta con unas características del diseño que se contemplan, teniendo así producción a pequeña escala, concepción simple, utilización máxima de recursos locales y consumo local entre otras descritas [9].

Se tiene por objeto de estudio los métodos utilizados para el enfardado y ensilado de forrajes además de los procesos por los cuales pasa el material antes de finalizar en la etapa de compactado, por eso resaltamos el documento denominado ‘CONSERVACIÓN DE HENO Y PAJA para pequeños productores y en condiciones pastoriles’, el cual explica de manera adecuada como se lleva a cabo todo el proceso desde la siembra hasta el almacenamiento de forrajes, teniendo en cuenta y haciendo aclaraciones cuando todo el proceso es manual, cuando el proceso es asistido por tracción animal, cuando se manejan máquinas de mecanización simple y ahora con los sistemas modernos que trabajan a gran escala en terrenos planos y de gran tamaño, gracias a esta información se puede evidenciar el trabajo y las limitaciones con las que cuentan las personas que se encargan de realizar esta labor cuando no cuentan con las herramientas de mecanización necesarias y se dedican a la realización tanto manual como con tracción animal [10].

En el 2000, la Facultad de Ciencias Agronómicas más específicamente el departamento de Ingeniería y Suelos de la Universidad de Chile, realizó una investigación de donde redactó un documento llamado “Maquina para la cosecha y suministro de forrajes” el cual en uno de sus capítulos hace una breve explicación de los métodos y formas de realizar los silos; En ella nombran o denominan la ensiladora estacionaria que realiza el trabajo de compactado del material solo que este debe ser cortado y trasladado a un solo lugar donde se encuentre el dispositivo para poder realizar la tarea en pequeñas capas y almacenarlo en bolsas de determinados pesos [11].

En el 2005 un Investigador del Programa de Fisiología y Nutrición animal de CORPOICA en Colombia, escribió un artículo basado en su investigación en el campo de alimentos sustitutos de gran calidad nutricional denominado “Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical” allí menciona una serie de características o ventajas que tienen los sistemas de almacenamiento de forrajes tales como demanda menor uso de mano de obra; en cuanto al clima, en épocas de sequía permite suministrar alimento constante y de igual calidad a los animales sin depender de agentes externos y en épocas excesivas de lluvia, se pueden presentar excedentes de forrajes para almacenar y en

algunos casos para comercializar y garantizar así alimento cuando haga falta para los animales [12].

Se menciona un libro que ofrece a los asistentes técnicos y ganaderos los principios básicos y la tecnología para la elaboración, manejo y utilización del ensilaje, como estrategia de ajuste para los períodos de escasez de forraje en la empresa ganadera, con el fin de mantener la producción de carne y leche todo el año, haciendo referencia a la importancia de estos métodos para la alimentación de gran variedad de animales presentes en el campo [13].

Es común encontrar la misma problemática en diferentes artículos debido a que el ambiente agrícola sin importar el lugar tiene parecidas o iguales desventajas, por eso es importante tener varios puntos de vista alrededor de un mismo problema, este artículo tratado, abarca la problemática presentada con la cantidad y calidad del forraje disponible en el área de pastoreo, ya que varía de una estación a otra del año. En la época de lluvias el forraje es suficiente y de calidad para mantener al rebaño en buena condición alimenticia, sin embargo, en la época seca y fría, el forraje es insuficiente y de pobre calidad por lo que el rebaño pierde peso facilitando una mayor incidencia de enfermedades y parasitosis interna y con ello se reduce la productividad del rebaño y en casos extremos la muerte de borregas y crías; es de allí donde nace la necesidad de generar sistemas de almacenamiento para solventar este tipo de dificultades [14].

Existen diferentes tipos de ensilado de forrajes en bolsas plásticas, así que es bastante importante definir sobre cual se plantea el proyecto; Como menciona el Ingeniero Agrónomo Gustavo Clemente en su publicación “Conservación de Forraje de Alfalfa”, existen ensiladoras que tienen como sistema de compactación un rotor principal y las ensiladoras a sin fin o tornillo, estas últimas no aplican a los objetivos del proyecto debido a que se emplean principalmente para el ensilaje de granos mientras que las ensiladoras de rotor principal, aplican en la mayoría de sus especificaciones debido a que sirven para el ensilaje de forrajes tales como la alfalfa, avena, soja, trigo entre otros [15].

En el 2009, las investigadoras Eliana Moreno y Nadia Sueiro, redactaron un documento llamado “Conservación de forrajes” en donde resaltan una serie de aspectos a tener en cuenta para cada uno de los métodos en el almacenamiento de forrajes, debido a que presentan ventajas y desventajas donde es mandatorio evaluar para seleccionar el método más adecuado. A continuación se presentan algunas de ellas:

- ✓ Características del forraje a conservar.
- ✓ Condiciones climáticas.
- ✓ Destino o uso.
- ✓ Disponibilidad de maquinaria y mano de obra [16].

En Agosto de 2003, Investigadores de CORPOICA, redactaron un documento sobre el manejo agronómico de cultivos forrajeros en la región Caribe Colombiana, y en el dejan observar un método de ensilaje bastante artesanal denominado “Pisado o Compactación” el cual explica el porqué de esta actividad y su realización por un número determinado de personas, también resalta que esta misma labor se puede realizar gracias a un tractor pero deja ver la necesidad de la realización de un mecanismo que optimice este proceso sin necesidad de muchos operarios y mucho menos de maquinaria robusta como lo es el tractor [17].

Entre los años 2004 y 2005, en argentina el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria realizó un estudio extenso donde relacionan costos y materiales a ensilar, dando a conocer cuáles son los materiales de predilección para el proceso de ensilaje gracias a su costo tan bajo y la calidad nutricional que brindan [18].

En el 2004 el semillero de investigación sobre materia Orgánica de la Universidad de la Salle en Bogotá, publicó un artículo denominado “Ensilaje como fuente de Alimentación para Ganado”, y resalta el proceso de ensilaje debido a que permite almacenar alimento en tiempos de cosecha conservando la calidad nutricional, lo cual posibilita aumentar la carga de animal por hectárea y sustituir o complementar con concentrados [19].

La empresa Nacional Invento Agro, ubicada en la ciudad de Bogotá, se ha encargado de realizar varios diseños para diferentes aplicaciones en el proceso de ensilaje y de esta manera facilitar el proceso, el único inconveniente encontrado es que este tipo de mecanismos igualmente siguen siendo bastante costosos y no todos los pequeños productores de este tipo de forrajes pueden adquirirlo, además que no satisface las condiciones de transporte fácil por terrenos de difícil topografía [20].

El Ing. Agrónomo Pablo Sotomayor, Investigador de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en la Región de Catamarca y La Rioja en Argentina, en uno de los documentos anexados a la página web, resaltan el uso de una enfardadora manual, a partir de una adaptación tecnológica realizada en el mecanismo para pequeños productores, donde describen sus características, siendo estas: *“Estructura de madera de forma rectangular, adosada a un émbolo con una palanca manual, la cual presiona el heno en la obtención del fardo. En la enfardadora de cajón, lo más importante es el émbolo de presión del pasto y la capacidad de movimiento de la máquina, consideradas claves por los productores. La capacidad de trabajo, medida en fardos por día, oscila en 30 fardos/día, durante 8 horas de trabajo realizado por tres personas.”*<sup>4</sup> [21].

---

<sup>4</sup> Ing. Agr. Pablo Sotomayor. (2002) Enfardadora manual modificada: tecnología adaptada a pequeños productores. [Online]. <http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/extension/profeder/actualidad/bole89/enfardadora.htm>

El ITACAB realizó una ficha técnica basada en un sistema de compactado de heno, el cual como principales características tiene que está realizada con materiales de fácil acceso a nivel rural, que puede ser construida en un taller local y que su funcionamiento es netamente manual a partir de un embolo que se encarga del proceso de compactado [22].

La empresa Massey Ferguson, luego de una serie de fusiones y compras se ha convertido en una empresa líder en el desarrollo de todo tipo de mecanismos agrícolas para diferentes tipos de labores, igualmente han hecho una gran desarrollo en el tema de almacenamiento de forrajes, teniendo así máquinas enfardadoras que se venden en todo el mundo, representando gran utilidad debido a la forma en que realiza el proceso, es importante destacar que la mayoría de este tipo de maquinarias vienen propuestas para terrenos netamente planos y deben ser auxiliadas por un tractor que se encargue de transportarla de un lado a otro para que realice su actividad [23].

Otra empresa que se ha dedicado al desarrollo de maquinaria agroindustrial para su venta, es Rota Terra quienes en su campo de forrajes y residuos, presentan equipos para el enfardado de forrajes, también dejan ver las ensiladoras en bolsa con las que cuentan y dejan ver algunas de sus características donde tienen equipos verticales u horizontales para tractor o motor estacionario y que son destinadas a compactar forrajes en bolsas estándares comerciales desde 30 hasta 60 Kg [24].

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

Entrando en materia e identificando algunos aspectos y elementos importantes para el estudio y posterior diseño y simulación del prototipo, se involucran algunos conceptos de ingeniería correspondientes a la Mecatrónica y otros más correspondientes al aplicativo agrícola en desarrollo y la ubicación geográfica donde se ejecutara el mismo; de la siguiente manera tenemos:

### **2.2.1 MARCO CONTEXTUAL**

Las necesidades presentadas en el campo agrícola obligan al diseño e implementación de nuevas propuestas en cuanto a sistemas de almacenamiento de forrajes se refiere. El Departamento del Tolima es una zona especial para la producción en masa de forrajes debido a su gran calidad nutricional; Presenta un tipo variado de topografía en donde no siempre se cuenta con terreno plano para la explotación a partir de maquinaria robusta, por ende el pequeño productor se ha visto en la necesidad de buscar soluciones artesanales que faciliten la realización

de esta actividad, fuente importante de alimento para la manutención interna de las fincas, ya que sirven como suplemento alimenticio para todo tipo de bovinos y equinos; al delimitar el espacio geográfico, nos centramos en los municipios de Guayabal, Mariquita y Honda fuente y objeto del estudio, más específicamente en las fincas conocidas como El Sargento y San Agustín, terrenos de un Hato lechero que cuenta con variedad amplia de animales que dependen de este tipo de forrajes para su alimentación diaria y mantener así la producción normal del hato lechero.

## 2.2.2 MARCO CONCEPTOS MECATRÓNICOS

La aplicación de nuevas tecnologías en el desarrollo agrícola del país, promueve el desarrollo del campo y de sus habitantes y todos aquellos que dependen del mismo para su subsistencia; Los conceptos de ingeniería utilizados para darle solución a la problemática presentada, se explican a continuación:

### ➤ **Diseño Mecatrónico:**

Es un conjunto de procesos de planeación y fases de diseño conceptual basándose en unas etapas bien definidas así: identificación de necesidades, establecimiento de especificaciones técnicas y la generación, selección y prueba de conceptos. Para desarrollar estas etapas se utiliza un método conocido como QFD y se explora la ingeniería inversa como una herramienta para obtener información relevante para el diseño. Como parte de la fase de diseño detallado se revisan conceptos básicos de actuadores y sensores utilizados en el diseño mecatrónico haciendo énfasis en la selección y dimensionamiento de componentes y en la generación de la documentación técnica. Se finaliza con el estudio de casos de aplicación [25].

**QFD:** El desarrollo de la función calidad ha demostrado que más que un sistema de desarrollo de producto, es una potente herramienta que permite identificar el real interés presente en el mercado final para de esta manera proyectar las necesidades de los consumidores y usuarios y convertirlas en especificaciones de producto, ponderadas según su nivel de relevancia dentro del sistema. [26]

### ➤ **CAD:** “Es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D). El software CAD puede ser especializado para usos y aplicaciones específicas”<sup>5</sup> [27].

---

<sup>5</sup> SIEMENS. (2011, Diciembre) SIEMENS. [Online]. [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/definition/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/definition/cad.shtml)

Esta herramienta es de gran importancia en el desarrollo de múltiples aplicaciones y para el caso específico de este proyecto permitirá diseñar, observar y corregir a nivel de software los bocetos planteados para su posible desarrollo y de alguna manera poder llegar a un diseño definitivo que cuente con cada una de las aptitudes positivas y significativas de los anteriores modelos.

#### ➤ **Actuadores:**

*“Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas”<sup>6</sup>*

Por otro lado, también existen los actuadores capaces de producir movimiento, el cual lleva una fuerza de por medio y se puede generar por sistemas neumáticos, hidráulicos, eléctricos o mecánicos de acuerdo a la necesidad del usuario y la aplicación.

#### ➤ **Actuadores Neumáticos:**

*“Los actuadores neumáticos sirven para transformar la energía de la presión en movimiento; con ello se desarrollan y transmite esfuerzos”<sup>7</sup> [28]*

*“El trabajo realizado por un actuador neumático puede ser lineal o rotativo, el movimiento lineal se obtiene por cilindros de émbolo. También encontramos actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), movimientos combinados e incluso con alguna transformación mecánica de movimiento que lo hace parecer de un tipo especial”<sup>8</sup> [29].*

Este tipo de actuadores neumáticos darán soporte al sistema de compactado diseñado de tal manera que funcionaran ya sea con un cilindro simple o con un cilindro de doble efecto a partir de un compresor previamente escogido según la fuerza aplicada necesitada para el correcto compactado del material.

---

<sup>6</sup> Juan Pedro Herrera Gallardo and Francisco José Vacas Trujillo, "Accionamientos y Actuadores Hidraulicos," Universidad de Huelva, La Rabidá, Espana, Presentacion.

<sup>7</sup> Festo. (2011, Diciembre) Festo Colombia. [Online]. [http://www.festo.com/cms/es-co\\_co/9510.htm](http://www.festo.com/cms/es-co_co/9510.htm)

<sup>8</sup> SEAS (Estudios superiores abiertos). (2011, Diciembre) SEAS (Estudios superiores abiertos). [Online]. <http://es.scribd.com/doc/2684435/ACTUADORES-NEUMATICOS>

➤ **Actuadores Hidráulicos:**

Son los encargados de dotar de movimiento a la estructura mecánica y pueden ser clasificados de acuerdo a la forma de operación, su funcionamiento es con base en fluidos a presión y se subdividen en tres grupos grandes así: Cilindros Hidráulicos, Motor Hidráulico, Motor Hidráulico de Oscilación [30]

➤ **Actuadores Eléctricos**

*“Se le da el nombre de actuadores eléctricos cuando se usa la energía eléctrica para que se ejecuten sus movimientos”* [31] los más comunes convierten movimientos rotacionales en movimientos lineales a partir de un sistema mecánico que transmite la fuerza y velocidad.

➤ **Teoría de materiales:**

Los productos tangibles siempre están sometidos a fuerzas que ocasionan una vida finita al mismo. Sin embargo, si no se tienen en cuenta los fenómenos que las piezas pueden sufrir al ser golpeadas se provocará un daño prematuro, Es por esto que es importante el estudio y el análisis de las propiedades de los materiales tales como: [32]

**La elasticidad:** Es la propiedad de un material para recuperar su forma original después de aplicársele una carga, si el esfuerzo rebasa el límite elástico del material se producirá una deformación plástica.

**La rigidez:** Es la propiedad de un material para soportar esfuerzos sin que estos le provoquen grandes deformaciones.

**La plasticidad:** Es la propiedad de un material para obtener deformaciones permanentes al aplicárseles una carga, sin que estos sufran una ruptura.

**La dureza:** Es la resistencia de un material a ser rayados o penetrados.

**La fragilidad:** Es la facilidad que un material posee para fracturarse con una deformación muy pequeña.

**La tenacidad:** Es una propiedad opuesta a la fragilidad y consiste en la resistencia a la rotura por acción de cargas exteriores.

**La resistencia a la fatiga:** Es la resistencia de un material a esfuerzos repetitivos.

**La resistencia mecánica:** Es la capacidad de los materiales a soportar esfuerzos de tracción o compresión, cizalladora o esfuerzos cortantes, flexión y torsión.

Las propiedades anteriores dependen de variables como lo son la deformación, fuerza, el esfuerzo, potencia, los cuales podemos definir de la siguiente forma:

**Deformación:** Es la diferencia entre la longitud de la sección transversal al aplicársele la carga y la longitud de la sección transversal inicial, para poder normalizar esta cantidad todo se divide entre la longitud inicial:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

#### **Ecuación 1 Deformación del material**

**Fuerza:** La Fuerza para este caso es descrita por la segunda ley de Newton como el producto de la masa por la aceleración:

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma$$

#### **Ecuación 2 Segunda Ley de Newton**

**Esfuerzo:** El esfuerzo es el cociente de la Fuerza aplicada dividida entre el área:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

#### **Ecuación 3 Esfuerzo**

**Potencia:** La potencia es el trabajo de un cuerpo en una unidad de tiempo:



$$P = \frac{W}{t}$$

#### Ecuación 4 Potencia

El haber definido estas propiedades de los materiales, permite realizar un proceso selectivo de los mismos, para poder escoger e implementar un material o diversidad de materiales que garanticen el correcto funcionamiento del prototipo además de la duración del mismo al soportar diferentes condiciones tanto climáticas como mecánicas que se pueden presentar durante el proceso de compactado.

### 2.2.3 MARCO CONCEPTOS DE APLICACIÓN

Este artículo, confirma el objetivo y el porqué del ensilaje y da a entender que no todo el año hay condiciones óptimas para que las plantas que comen los animales crezcan de igual manera, en cambio los animales tienen hambre todos los días del año y por esta razón es bueno hacer una reserva de alimento, lo cual estamos definiendo como ensilaje cuando se le agrega un aditivo al material y enfardado cuando las plantas se someten a un proceso de secado o deshidratación para su posterior almacenamiento [33].

Se define el silo en bolsa como el proceso de colocar material a ensilar dentro de una bolsa de calibre 4 a 6 y capacidad de 40 a 50 Kg, después de un proceso de compactado para extraer la mayor cantidad de aire posible, se debe cerrar herméticamente para evitar las fermentaciones indeseables y poder mantener el producto por un determinado lapso de tiempo que viene a ser bastante largo [34].

Maritza del Rosario Véliz Piguave en su documento de opción de grado, define el silo en bolsa como: *“Método de simple ejecución y proporciona mayores rendimientos debido a que la compactación se realiza al vacío. El volumen de reserva considerado es del 10%”*<sup>9</sup> [35].

Se han definido una serie de conceptos relevantes que hacen parte del documento pero hasta el momento no se había entrado a definir que es la enfardadora, por esta razón se cita el siguiente artículo en donde de manera breve y concisa la definen como *“equipo que sirve para realizar fardos de heno, para así almacenarlo en un henil. Las ventajas que presenta es que disminuye el forraje en una proporción de 5: 1, así como*

---

<sup>9</sup> Maritza del Rosario Véliz Piguave, "Evaluación de diferentes Alternativas de Ensilaje de Cascara de Gandul Para la Alimentación Bovina," Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Tesis de Grado 2006.

*permite un fácil manipuleo y manejo del heno y su transporte, conserva el forraje en buena calidad y disminuye las pérdidas”<sup>10</sup> [36].*

En agosto de 2009 la investigadora Ana María Bianco de la facultad de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay, expresa que durante el proceso de ensilaje existen varias etapas críticas para no perder el material y una de ellas sino es la más importante, viene dada durante el proceso de compactado y se refiere a la exclusión total de aire de la bolsa y al proceso o la forma utilizada para amarrar la misma logrando así la mayor ausencia de aire [37].

Algunas de las ventajas del ensilaje mencionadas por la FAO son: Reserva para épocas de sequía, Aumentan la productividad, Facilitan el manejo de Forrajes y de cultivos, equilibra el contenido de nutrientes, almacenaje prolongado de alimentos muy perecederos, entre otras, es por estas razones y mas que se plantea el objetivo de realizar un mecanismo que facilite este proceso y lo vuelva más eficiente en todo sentido, optimizando los sistemas utilizados por los pequeños productores [38].

---

<sup>10</sup> Wilbert Palomino Rincón. geocities. [Online]. <http://www.geocities.ws/elmerzinho/doc/avena.pdf>

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

#### 3.1 APLICACIÓN DE QFD

Por medio de la herramienta QFD, se pretende transformar las necesidades del usuario en problemas de ingeniería basados en la calidad del diseño y así implementar las funciones que aporten más calidad al desarrollo del proyecto, teniendo así la siguiente subdivisión:

##### 3.1.1 IDENTIFICACIÓN NECESIDADES DEL CLIENTE.

Los requisitos de producto se obtuvieron directamente de las necesidades del usuario final, se clasificaron por grupos según su importancia y dentro de los mismos se ubican los niveles secundarios o específicos. Dentro de los grupos principales encontramos la limitante de espacio y la funcionalidad del dispositivo, los cuales abarcan una serie de necesidades y restricciones presentadas por el usuario para tener en cuenta en el diseño final. Estos grandes grupos y subdivisiones vienen dados así:

- **Funcionalidad:** primer grupo de trabajo que contempla las siguientes subdivisiones importantes dentro del diseño, teniendo así:

Movilidad y mantenimiento  
Estructura y funcionamiento  
Accesibilidad

- **Limitante de Espacio:** Segundo grupo de trabajo que al igual que el anterior, contempla una serie de subdivisiones importantes, reconocidas por los siguiente nombres:

Usuario  
Lugar de trabajo

Los 2 grupos descritos anteriormente son los más importantes debido a que cada uno de ellos abarca una serie de subgrupos que dentro de ellos mismos contienen una serie limitada de necesidades y de restricciones presentadas por el usuario para el desarrollo e implementación del prototipo.

Un factor bastante importante dentro del análisis de diseño, es determinar el grado de importancia que el cliente, o los posibles usuarios finales del mecanismo le

asignen a cada uno de estos atributos seleccionados por el diseñador; para esto se le pidió a 3 personas que trabajan en el medio, que evaluarán los ítems tomando 5 como valor máximo y 0 como valor mínimo y después de este estudio se procede a graficar los datos, la Tabla 1 muestra los datos y la Ilustración 1 su resultado gráfico.

COMPACTADORA DE FORRAJES				Valoración 1	Valoración 2	Valoración 3	Promedio
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Atributos				
			Fácil de desplazar por diferentes terrenos	4,5	4	4,2	4,2
			Fácil de limpiar	3,8	3,5	4,1	3,8
			Fácil mantenimiento	4,2	3,5	3,7	3,8
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	3,2	3,2	3,5	3,3
			No vibre	2,6	2,7	2	2,4
			Vida útil prolongada	4,8	4,5	5	4,8
			Capacidad de carga alta	4,9	5	4,7	4,9
			Velocidad compactado	4,5	4,5	4,5	4,5
			Capacidad de trabajo continuo	4,6	4,4	4,9	4,6
			Materiales rígidos	4	4	4,3	4,1
			Liviano	4,5	4,2	4,4	4,4
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	5	5	5	5
			Fácil manipulación	5	5	5	5
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño estético	4,6	4,5	4,5	4,5
			Adaptable a más de una aplicación	3,8	3,9	3,3	3,7
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	4	4	4	4
			Resistente a las variaciones ambientales	4,1	3,9	4,6	4,2
	Apariencias		Colores neutrales	2,4	2,5	3	2,6
			Señalizaciones	3,5	3,6	4,1	3,7
			Buenos acabados	4	3,8	3,9	3,9
	Tiempo		Seis meses para desarrollarlo	*	*	*	*
	Costo		Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos	*	*	*	*
	Manufactura		Elementos comerciales	*	*	*	*
			Componentes de mecanización simples	*	*	*	*
	Seguridad		Botón de emergencia	4,5	4,2	4,8	4,5
			Sistema de frenado	4,2	4	4,2	4,1
			Estable durante el trabajo a realizar	4,3	4,3	4,4	4,3
	Medio Ambiente		Bajo consumo energía	4,5	4,5	4,7	4,6
			Materiales no contaminantes	*	*	*	*

Tabla 1 Valoración Atributos del Cliente<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Tabla Realizada con la Colaboración del Ingeniero Agrónomo Hernán Augusto Salamanca, El Médico Veterinario Hernando Salamanca y el Administrador de la Finca Juan Pablo Hoyos



**Ilustración 1 Valoración Atributos del Cliente**

La Ilustración 1 es una forma gráfica de observar el comportamiento de las opiniones con respecto a la valoración de cada una de las aptitudes con las que debe contar el sistema, además de un promedio obtenido para determinar posibles puntos de inflexión importantes en la toma de decisiones durante el desarrollo del prototipo.

### **3.1.2 EVALUACIÓN MATRICIAL DE LAS NECESIDADES DEL USUARIO.**

Luego de definir las necesidades del cliente y priorizarlas según su grado de importancia dentro del prototipo, se procede a someterlas a evaluación bajo una matriz en donde cada ítem es comparado con respecto al siguiente, mirando el grado de importancia; se evalúa con 1 el ítem importante y con 0 el menos importante, así sucesivamente hasta someter los ítems todos contra todos, buscando llegar a un valor numérico el cual indica la importancia de la necesidad dentro del diseño. Esta matriz se puede observar en el anexo 9.1 QFD (DESARROLLO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD). Por otro lado en la Tabla 2 se encuentra sintetizada toda la información arrojada por la matriz de evaluación y así mismo las otras condiciones sobre las cuales se evalúa el diseño del prototipo para no incurrir en errores y evitar defectos, cumpliendo así con los requerimientos del usuario.

Como se observa en la Tabla 2, se organiza la información de tal manera que se relaciona las necesidades del usuario de acuerdo a unas categorías ya especificadas por el diseñador y se convierten en problemas de ingeniería, estos

se someten a una evaluación definitiva la cual asigna el grado de importancia dentro de la etapa de diseño.

COMPACTADORA DE FORRAJES				Importancia
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Fácil de desplazar por diferentes terrenos	4,2
			Facil de limpiar	2,3
			Fácil mantenimiento	3,7
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	1,1
			No vibre	2,6
			Vida útil prolongada	*
			Capacidad de carga alta	*
			Velocidad compactado	2,6
			Capacidad de trabajo continuo	4
			Materiales rigidos	*
			Liviano	*
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	4,8
			Fácil manipulación	4
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño estético	1,1
			Adaptable a más de una aplicación	4,4
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	0,4
			Resistente a las variaciones ambientales	*
		Apariencias	Colores neutrales	0
			Señalizaciones	4
			Buenos acabados	2,2
		Tiempo	Seis meses para desarrollarlo	*
		Costo	Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos	*
		Manofactura	Elementos comerciales	*
			Componentes de mecanizacion simples	*
		Seguridad	Botón de emergencia	*
			Sistema de frenado	*
			Estable durante el trabajo a realizar	*
		Medio Ambiente	Bajo consumo energía	*
			Materiales no contaminantes	*

Tabla 2 QFD del sistema De compactado.

Los datos impresos en la columna denominada “Importancia”, demarcada de color rojo, presentan un valor numérico que indica la importancia de esa necesidad o requisito dentro del diseño del prototipo, por ejemplo, el ítem de Capacidad de trabajo continuo está calificado con 4 y quiere decir que es de suma importancia que el diseño del prototipo satisfaga esta necesidad mientras que el ítem denominado colores neutrales aparece con 0 así que es de poca importancia el color o la mezcla de los mismos dentro del prototipo definitivo debido a que prima su capacidad de trabajo y la variedad de aplicaciones más que la estética; por otro lado los ítems que aparecen con asterisco en su evaluación, indican que el diseñador se encarga de evaluar su necesidad y de aplicar en caso que sea necesario.

### **3.2 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO**

Esta sección contempla la realización de diferentes bocetos a mano por parte del diseñador, además de todo lo relacionado con la selección y simulación del mismo por elementos finitos.

#### **3.2.1 REALIZACIÓN BOCETOS A MANO E IDENTIFICACIÓN VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO.**

La realización de los bocetos permite dar una idea general del sistema en conjunto, dándole al diseñador la oportunidad de evaluar posibles opciones de implementación las cuales se someten a un riguroso estudio y evaluación para determinar cuál de las opciones dibujadas aplica mejor para su diseño en software CAD, de esta manera a partir de los 3 modelos propuestos se escoge uno que cuente con las características positivas y ventajas de los 3 diseños iniciales y lograr armar un solo prototipo definitivo. Las imágenes individuales de los bocetos se presentan a continuación con una pequeña descripción, el modelo general con toda la información y caracterización de sus componentes se encuentra en el anexo 9.2 BOCETOS SISTEMA EN GENERAL. Los bocetos dibujados y evaluados son:

✓ **BOCETO 1**

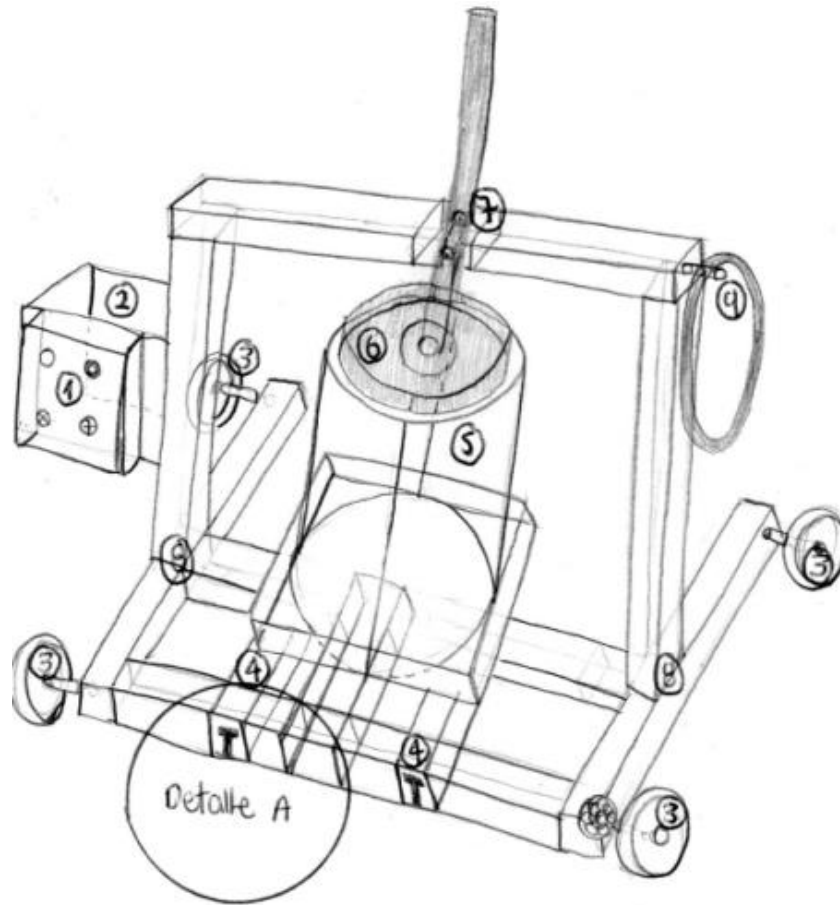


Ilustración 2 Boceto Mecánico No 1

**Descripción:**

Compuesta por una estructura realizada a base de perfiles cuadrados soldados entre ellos, tiene un sistema de rieles que permite la manipulación y extracción del material directamente de la tolva de compactado, maneja un sistema de tracción diferencial de 4 ruedas fijas independientes, un sistema de compactado aplicable ya sea neumático, hidráulico o eléctrico dependiendo de la necesidad y comodidad del diseñador.

**Ventajas:**

- Estabilidad al momento de compactar.
- Sistema guía del eje principal compactador fijo.



- Embolo compactador intercambiable.

#### Desventajas:

- Dimensiones grandes.
- Difícil movilidad por terrenos ásperos y de difícil topografía debido a las llantas que tiene.
- Sistema de rieles para el desplazamiento de la base de la tolva, puede ensuciarse y obstaculizarle fácilmente por el mismo material sobrante durante el compactado.
- Difícil movilidad en formas curvas u otros trayectos parecidos debido a que las llantas son fijas e independientes.

#### ✓ BOCETO 2

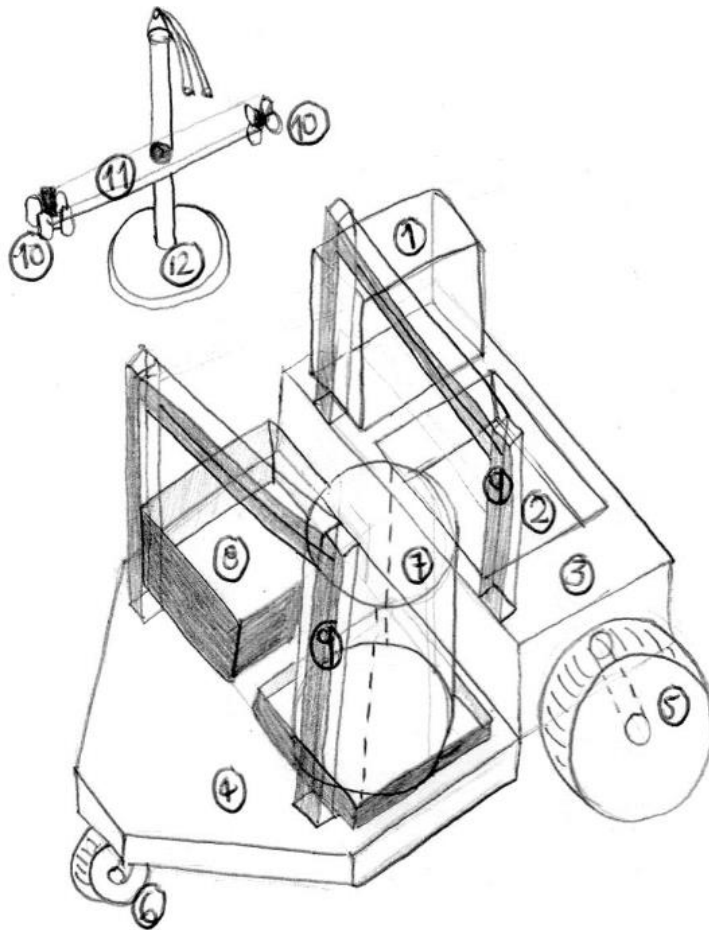


Ilustración 3 Boceto Mecánico No 2

**Descripción:** Compuesto por 2 plataformas a diferentes alturas, en donde la más baja comprende todo el sistema soporte de compactación y donde se ubican los 2 tipos diferentes de tolvas para compactar el material, tanto la cilíndrica como la cuadrada, además del riel inferior guía del sistema de compactado; por otro lado la plataforma superior da espacio para ubicar el sistema de compactado a utilizar, ya sea neumático, hidráulico o eléctrico y para posicionar la caja de supervisión y comando además del riel guía superior del sistema de compactado que se desplaza en el espacio horizontal del mecanismo.

**Ventajas:**

- Sistema de frenado general para el sistema de tracción.
- Sistema de tracción tipo triciclo.
- Fácil desplazamiento por cualquier tipo de terreno gracias a su sistema de tracción y las dimensiones de los neumáticos utilizados.
- Sistema de compactación móvil gracias a su desplazamiento sobre los rieles.
- Tolvas intercambiables para desarrollar procesos iguales consecutivos.
- Embolo compactador intercambiable.

**Desventajas:**

- Dimensiones siguen siendo grandes.
- Si no se cuenta con 2 tolvas idénticas se pierde un espacio de compactación.
- Sistema de rieles guía para el método de compactación se puede ensuciar y obstaculizar fácilmente con el mismo material de compactado.

✓ BOCETO 3

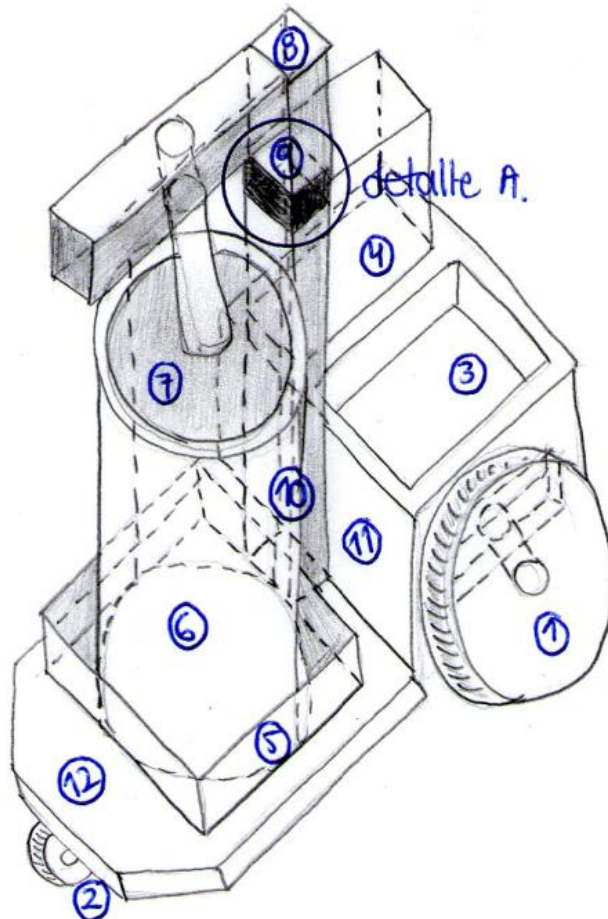


Ilustración 4 Boceto Mecánico No 3

**Descripción:**

Compuesto por 2 plataformas a diferentes alturas, en donde la más baja comprende todo el sistema soporte de compactación y donde se ubica la zona dispuesta para la fijación y colocación de la tolva a utilizar, bien sea la cilíndrica o la cuadrada; por otro lado la plataforma superior da espacio para ubicar el sistema neumático, hidráulico o Eléctrico a utilizar y para posicionar la caja de supervisión y comando; es bueno destacar que la estructura que sujeta y guía el sistema de compactado, comienza de la plataforma inferior pero se desplaza hacia arriba donde se une por medio de un eje ajustado con un rodamiento de bolas que permite la rotación (detalle A) de la parte superior del sistema de

compactado para poder manipular de una mejor manera el material y la tolva.

**Ventajas:**

- Sistema de tracción tipo triciclo.
- Sistema de frenado general para el sistema de tracción.
- Parte superior estructura compactado móvil.
- Fácil desplazamiento por terrenos difíciles gracias a su sistema guía de dirección y su tracción trasera.
- Embolo compactador intercambiable.

**Desventajas:**

- Estructura superior del sistema de compactado, al ser móvil podría incomodar al usuario.
- Dimensiones grandes

Después de describir cada uno de los bocetos planteados, mostrar sus correspondientes imágenes y detallar las ventajas y desventajas de cada modelo, se sometieron los posibles diseños a una evaluación con base en las necesidades del usuario presentadas en la sección anterior durante el estudio por QFD, por esta razón se comparan los bocetos propuestos con las mismas características y necesidades exigidas por el usuario final; la Tabla 3 muestra el promedio general de las evaluaciones realizadas por expertos en la materia para cada uno de los bocetos con respecto a las características con las que debe contar cada sistema y así cumplir con las necesidades del usuario; los datos individuales de evaluación, con los cuales se determinó el promedio se encuentran en la parte de anexos, véase Tabla 8 Evaluación Características Bocetos.

COMPACTADORA DE FORRAJES				BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Fácil de Desplazar por diferentes terrenos	2,9	4	4,4
			Fácil de limpiar	3,7	3,6	4,2
			Fácil mantenimiento	3,7	3,6	4,1
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	*	*	*
			No vibre	4,1	4	4,2
			Vida útil prolongada	4,3	4,3	4,3
			Capacidad de carga alta	4,2	4,6	4,6
			Velocidad compactado	4,1	4,2	4,3
			Capacidad de trabajo continuo	4,7	4,3	4,3
			Materiales rigidos	4,3	4,3	4,2
			Liviano	3,7	3,7	4,4
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	4,6	4,6	4,5
			Fácil manipulación	4,4	4,4	4,6
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño estético	3,9	4,2	4,5
			Adaptable a más de una aplicación	4,1	4,1	4,6
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	3,8	4,1	4,7
			Resistente a las variaciones ambientales	4	4	4,3
		Apariencias	Colores neutrales	*	*	*
			Señalizaciones	4,2	4,1	4,2
			Buenos acabados	4,2	4,3	4,5
	Tiempo	Seis meses para desarrollarlo	*	*	*	
	Costo	Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos	*	*	*	
	Manufactura	Elementos comerciales	*	*	*	
		Componentes de mecanizacion simples	*	*	*	
	Seguridad	Botón de emergencia	*	*	*	
		sistema de frenado	*	*	*	
		Estable durante el trabajo a realizar	*	*	*	
	Medio Ambiente	Bajo consumo Energía	4,1	4	4,4	
		Materiales No Contaminantes	*	*	*	
				Promedio		

Tabla 3 Evaluación Características de los Bocetos Planteados.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Evaluación Realizada por Ingeniero Agrónomo Hernán Augusto Salamanca, El Médico Veterinario Hernando Salamanca y el Administrador de la Finca Juan Pablo Hoyos

Es notorio resaltar que por razones de Diseño, Implementación, Desarrollo y Funcionamiento entre otras muchas características, el Boceto con mejor promedio dentro de la evaluación es el número 3, por esta razón se decide comenzar la etapa de diseño CAD detallado a partir de este boceto, sin olvidar que cada uno a su manera tiene ventajas que pueden durante el proceso de diseño generar modificaciones en la estructura final para un mejor funcionamiento y aplicación.

### 3.2.2 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS EXISTENTES.

Dentro del diseño del mecanismo a utilizar, es importante someter el boceto elegido, a comparación con otros mecanismos existentes que trabajen bajo el mismo principio; por esta razón en el caso particular de este proyecto, se sometió el diseño a evaluación y comparación con otros 3 mecanismos utilizados en el país, tomando así los puntos de vista de personas que se encuentran en el ambiente agrícola y manejan este tipo de mecanismos. Los otros 3 mecanismos utilizados para la comparación, se mencionan a continuación:

- **SILO FÁCIL 1**

Mecanismo desarrollado por la empresa colombiana Invento Agro ubicada en la ciudad de Bogotá, este dispositivo descrito a grandes rasgos, tiene una tolva o deposito donde se introduce el material o forraje y por medio de un embolo accionado se prensa el material, es importante resaltar que la información técnica del dispositivo es reservada por la empresa .



Ilustración 5 Mecanismo Silo Fácil 1<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Invento Agro. (2009) Invento Agro. [Online]. [http://www.invento.com.co/product\\_silo\\_1.html](http://www.invento.com.co/product_silo_1.html)

- **SILO BOLSA DE PALANCA MANUAL**

Este sistema mecánico de trabajo manual, fue desarrollado por la empresa Practi-Agro de la ciudad de Manizales, es un sistema operado netamente manual donde se utiliza el principio de la palanca para generar una presión sobre una tolva cilíndrica donde se encuentra almacenado el material y así lograr su compactación.



**Ilustración 6 Mecanismo Silo Bolsa de Palanca Manual<sup>14</sup>**

- **SILO PRENSA**

Sistema de compactación de forrajes desarrollado por la empresa Ideagro ubicada en el municipio de Cajicá, es un mecanismo más robusto que utiliza el método del tornillo para el compactado del material dentro de la bolsa.

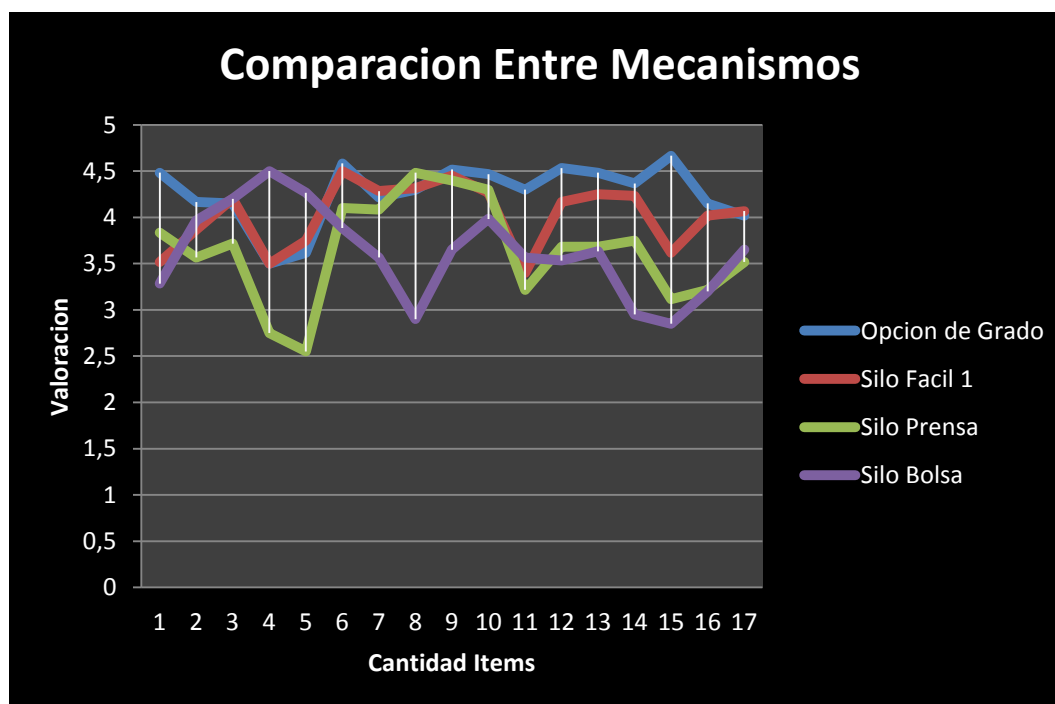


**Ilustración 7 Mecanismo Silo Prensa<sup>15</sup>**

<sup>14</sup> Practi Agro. (2008) Practi Agro. [Online]. <http://colombia.nexolocal.com/p8966375-silo-bolsa-manual-980-000>

Es necesario someter los anteriores mecanismos y el nuevo diseño a evaluación por personal calificado o personas que se muevan en el medio agrícola y manejen este tipo de mecanismos, debido a que nos puede suministrar información útil de acuerdo a las ventajas y desventajas con las que cuenta cada dispositivo ya creado y con las que podría contar el equipo en diseño; la Tabla 7Tabla 7 contiene cada uno de los datos de evaluación dados por las 3 personas seleccionadas, para sintetizar esa información la Tabla 4 muestra el promedio de los datos para cada mecanismo.

Como se puede observar en la Ilustración 8 la línea de color azul resalta los valores obtenidos por el sistema a diseñar en donde se puede concluir que el sistema propuesto cuenta con las características positivas además de que satisface las necesidades del usuario, por esta razón se empieza en la siguiente sección a trabajar en la etapa de diseño, que busca darle forma virtual al prototipo para su posterior implementación.



**Ilustración 8 Comparación y evaluación con otros sistemas existentes**

<sup>15</sup> Ide Agro. (2010) Ide Agro Grupo Industrial. [Online]. <http://www.ideagro.com.co/biblioteca/siloprensa/>



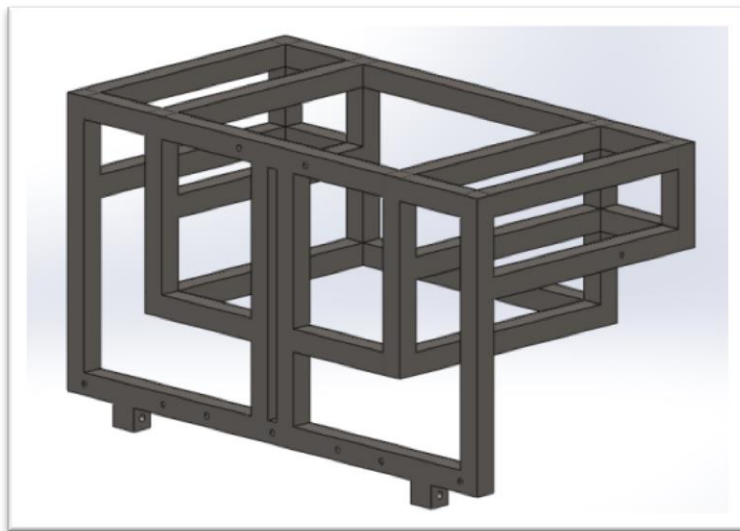
COMPACTADORA DE FORRAJES				Opción de Grado	Silo Fácil 1	Silo prensa	Silo bolsa
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Fácil de Desplazar por diferentes terrenos	4,485	3,515	3,835	3,3
			Fácil de limpiar	4,165	3,865	3,565	3,95
			Fácil mantenimiento	4,15	4,2	3,715	4,2
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	3,5	3,5	2,75	4,5
			No vibre	3,615	3,75	2,55	4,25
			Vida útil prolongada	4,585	4,5	4,1	3,9
			Capacidad de carga alta	4,215	4,285	4,085	3,55
			Velocidad Compactado	4,3	4,315	4,485	2,9
			Capacidad de trabajo continuo	4,515	4,45	4,4	3,65
			Materiales Rígid	4,465	4,265	4,3	4
			Liviano	4,3	3,4	3,215	3,55
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	4,535	4,165	3,685	3,55
			Fácil manipulación	4,485	4,25	3,685	3,65
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño Estético	4,365	4,235	3,75	2,95
			Adaptable a más de una aplicación	4,665	3,615	3,115	2,85
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	4,15	4,015	3,215	3,2
			Resistente a las variaciones ambientales	4,015	4,065	3,515	3,65
	Apariencias	Colores neutrales	*	*	*	*	
		Señalizaciones	4,265	4,165	3,9	3,25	
		Buenos acabados	4,365	4,45	3,985	3,1	
	Tiempo	Seis meses para desarrollarlo	*	*	*	*	
	Costo	Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos	*	*	*	*	
	Manufactura	Elementos Comerciales	*	*	*	*	
		Componentes de mecanización simples	*	*	*	*	
	Seguridad	Botón de Emergencia	*	*	*	*	
		Sistema de frenado	*	*	*	*	
		Estable durante el trabajo a realizar	*	*	*	*	
	Medio Ambiente	Bajo consumo Energía	4,535	4,115	3,515	4,75	
		Materiales No Contaminantes	*	*	*	*	
				PROMEDIO			

Tabla 4 Comparación y evaluación con otros sistemas existentes.

### 3.2.3 REALIZACIÓN DEL DISEÑO CAD A PARTIR DEL BOCETO ESCOGIDO DE ACUERDO A SU FUNCIONALIDAD.

Debido a que el boceto escogido por su funcionalidad fue el número 3, se procede a determinar las posibles formas de implementación, en donde el diseñador llega a la conclusión de realizar para cada una de las plataformas presentes (tanto inferior como superior) una estructura metálica en perfiles rectangulares huecos de pulgada y media y calibre 16 de material Cold Roll, con los cuales se pretende dar a la estructura rigidez y fortaleza al impacto, intentando mantener la condición de peso bajo. Siguiendo el orden adecuado se presentan a continuación las piezas prediseñadas así:

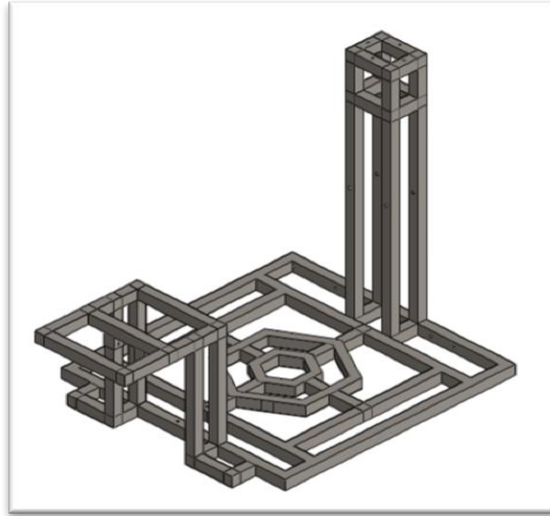
#### ✓ Plataforma Superior



**Ilustración 9 Plataforma Superior Prototipo**

Realizada en perfiles cuadrados huecos, soldada en la mayoría de sus uniones o juntas, el perfil utilizado es de pulgada y media de Cold Roll que brinda propiedades de tracción importantes para la aplicación de compactado y de calibre 16 que permite realizar la soldadura sin dañar o comerse el material donde se aplique; tiene un peso Aproximado por simulación de 22 Kg.

- ✓ Plataforma Inferior.



**Ilustración 10 Plataforma Inferior Prototipo**

Al igual que la plataforma superior, esta también está realizada en perfiles cuadrados huecos del mismo calibre y está soldada en sus juntas para lograr la forma indicada, soporta el sistema de tracción delantera además del sistema de compactado y la tolva, es importante recalcar que la unión con la plataforma superior viene dada por una serie de pernos que brindan rigidez y seguridad para unir ambas piezas y su peso por simulación está en 40 Kg.

- ✓ Sistema de Amortiguación Trasero.



**Ilustración 11 Sistema de Amortiguación Prototipo**

El sistema de amortiguación utilizado en el prototipo, está definido por 3 componentes que trabajan en conjunto para darle estabilidad, suavidad y amortiguación al momento de desplazarse por terrenos de difícil topografía, se cuenta con un amortiguador, una tijera y una llanta como se muestra en la Ilustración 11; Es importante resaltar que las Llantas a utilizar corresponden a las de una carretilla pero con un labrado mejor y se evalúa de forma general la aplicación o utilización de una tijera y amortiguadores de motocicleta ya que las dimensiones aplican para el diseño del prototipo.

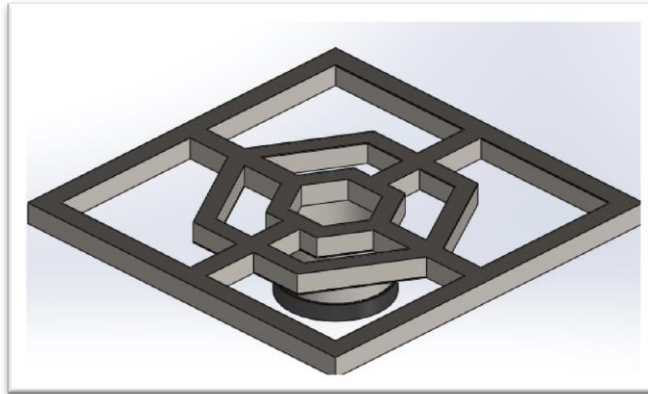
- ✓ Sistema de Amortiguación Delantero.



**Ilustración 12 Sistema de Amortiguación Delantero**

AL igual que el sistema de amortiguación trasero, el delantero cuenta con una similitud de componentes descritos a continuación; 2 amortiguadores de moto que buscan suavizar el desplazamiento del prototipo por terrenos robusto, una tijera tipo tenedor de bicicleta que fija la llanta a la estructura evitando así su deslizamiento y un tornillo en forma de U que sujeta el tenedor a la estructura y le da la dirección de desplazamiento.

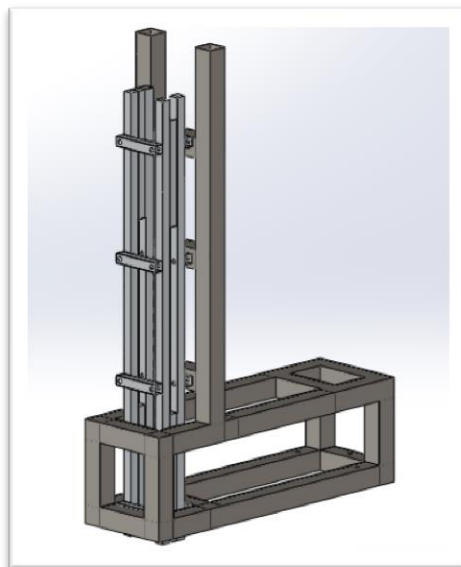
- ✓ Soporte Central Sistema de Compactado.



**Ilustración 13 Soporte Central Estructura Sistema de Compactado**

Debido a que la estructura fue diseñada para estar en constante movimiento, tiene cierta altura mínima desde su punto más bajo en la plataforma inferior, es por eso que se vio necesario el diseño de un sistema de soporte central móvil que fuera capaz de aguantar el golpe realizado por el sistema de compactado durante el proceso de compactación; es importante definir que este soporte presta un servicio de sujeción fija al mecanismo y es removible en el momento que se presente un desplazamiento del equipo.

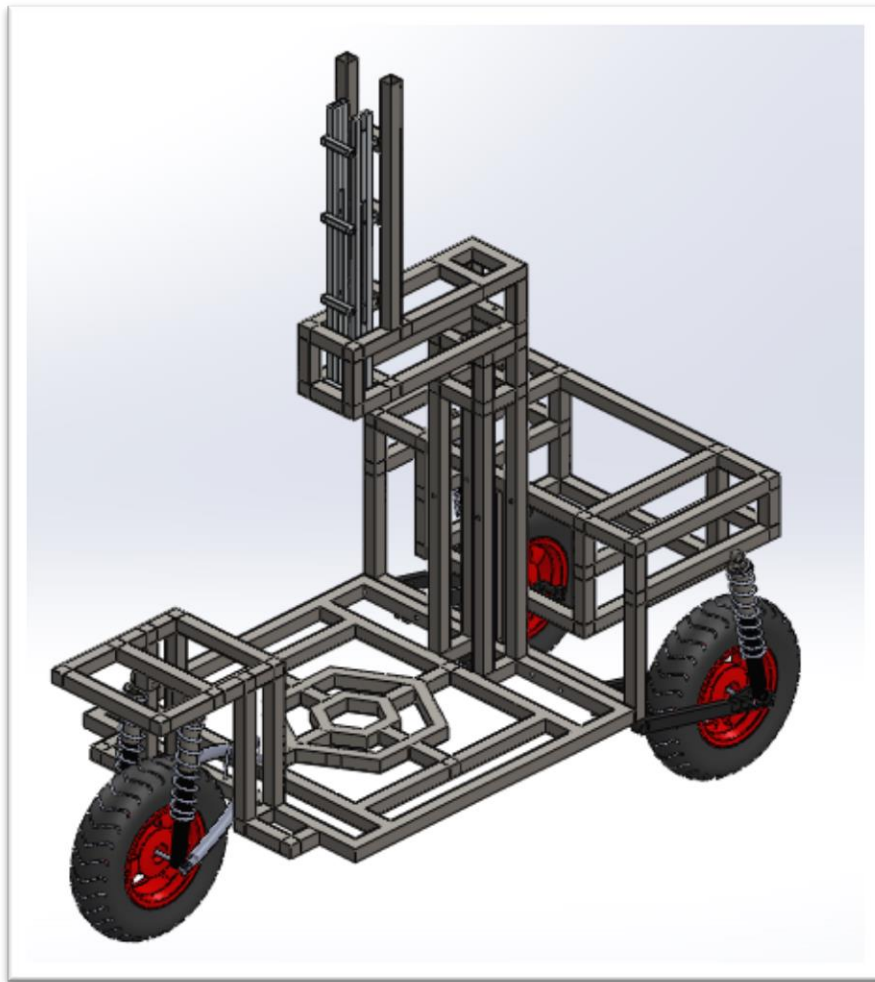
- ✓ Brazo Soporte Actuador Eléctrico



**Ilustración 14 Soporte Actuador Eléctrico**

Se diseñó un brazo móvil encargado de soportar el peso y el actuador eléctrico, está compuesto por dos secciones bastante importantes que le dan rigidez, solidez y firmeza al unirlo a la estructura y permitir así su correcto uso durante el proceso de compactado, la primera parte de color más claro es realizada en perfil de aluminio y sujeta el actuador al brazo, que es realizado en el perfil y material utilizado en el resto de la estructura, igualmente el aluminio viene sujeto con tornillos al acero y este viene soldado en todas sus juntas.

- ✓ Ensamblaje General Sistema Mecánico y Estructuras.



**Ilustración 15 Vista General Acople Plataformas con Sistema de Amortiguación**

La imagen anterior muestra el conjunto del sistema mecánico a utilizar, después de realizar cada una de las piezas y unir las en simulación por medio de diferentes tipos de conexiones como soldaduras, pernos, pasadores o tornillos entre otras.

- ✓ Tolva guía bolsa de silo.

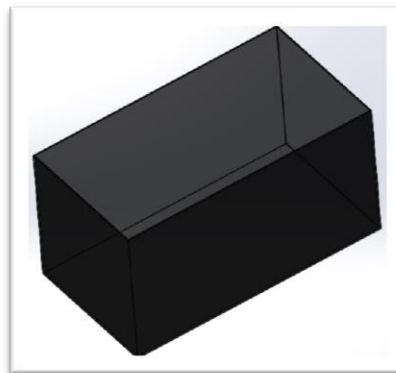


**Ilustración 16 Tolva Guía Bolsa de Silo**

En el momento que se requiere el uso del dispositivo para realizar bolsas de silo de 45 Kg, es necesario el uso de una tolva cilíndrica hecha en Polietileno de alta densidad y alto peso molecular que permita al usuario acomodar la bolsa ya definida en dimensiones y ubicarla dentro de la tolva para que de esta manera pueda servir como guía en el momento que la bolsa es llenada con material alimenticio y a la vez que este es compactado por el actuador.

- ✓ Tolva Guía Paca de Heno.

En el momento que se requiere el uso del dispositivo para realizar pacas de heno de 5 Kg, es necesario remover la tolva cilíndrica y ubicar la tolva cuadrada que es más pequeña y aplica para el sistema de compactación de heno, manteniendo el mismo principio de funcionamiento donde solo varía el material a compactar y las dimensiones del mismo.

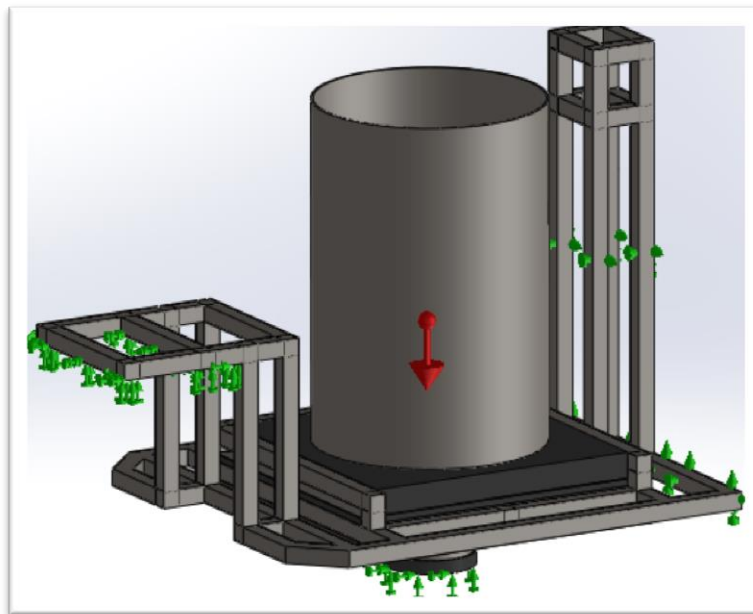


**Ilustración 17 Tolva Guía Heno.**

Al igual que la tolva guía para el proceso de compactado de heno, en el mercado se consigue este cajón rectangular de polietileno de alta densidad que brinda un soporte y guía rígido para darle forma al material en el momento que se pretende compactar heno.

### 3.2.4 SIMULACIÓN SISTEMA MECÁNICO

Para la Simulación de la Estructura Mecánica Realizada en CAD, se utilizó la Herramienta Simulation contenida dentro de la Licencia Académica de SolidWorks, en donde se realizaron los Estudios Estáticos y de Pandeo por medio de un Análisis de Elementos Finitos, buscando posibles errores y fallas en la estructura, tanto en el material escogido como al ser sometidas a las cargas distribuidas que maneja y las presiones que resistirá en cada proceso de compactado realizado.

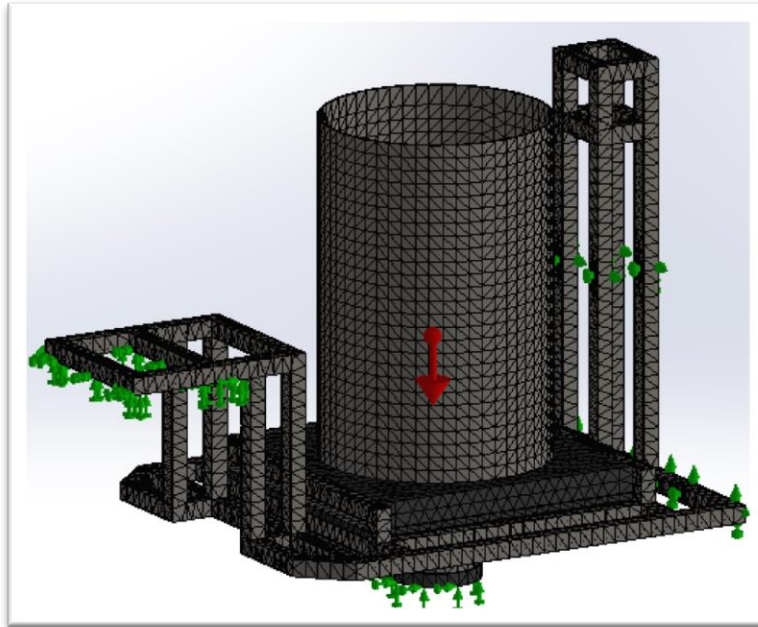


**Ilustración 18 Simulación Estudio Estático y de Pandeo**

La ilustración 18 refleja la estructura que fue sometida a simulación en ambos estudios; como se observa no está presente la plataforma superior ni el sistema de amortiguación incluyendo llantas y demás componentes que se consideraron no intervienen en el desarrollo de este aplicativo, esto se hizo con el fin de hacer más ligera la simulación y no saturar o complicar el desarrollo de la misma. Las flechas de color verde que se observan sobre los puntos de apoyo delanteros, centrales y traseros reflejan unas sujeciones fijas colocadas buscando simular el sistema de amortiguación y el apoyo, la flecha roja hacia abajo indica que se está teniendo en cuenta la gravedad para el desarrollo del estudio y para finalizar en el interior de la



tolva cilíndrica se encuentran otras flechas de color rojo que indican el lugar sobre el cual se aplica la presión de 80 PSI y en la misma dirección se coloca la masa distribuida que simula cuando la bolsa está totalmente llena.



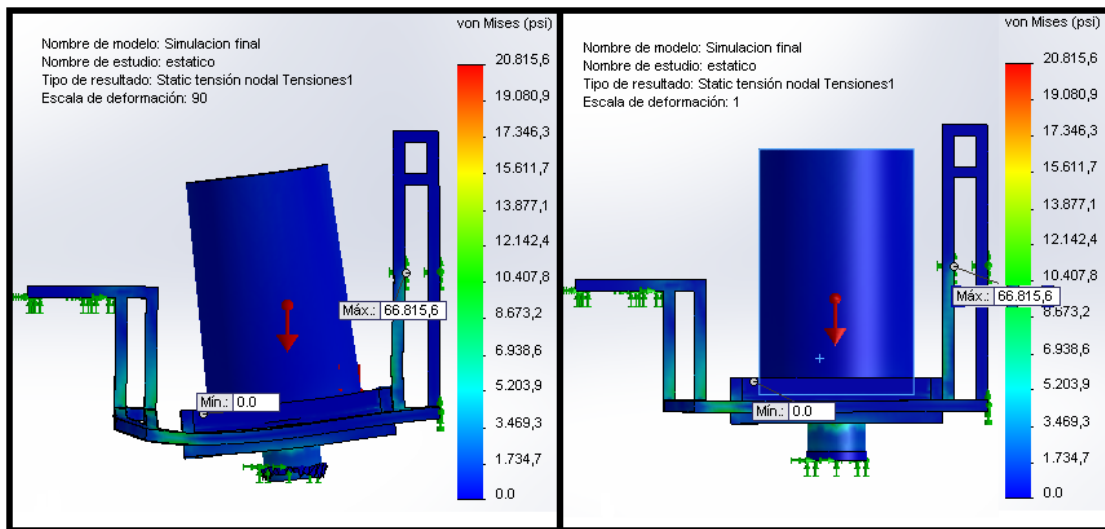
**Ilustración 19 Mallado Simulación**

Nombre de estudio	estatico (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máx. de elemento	0 mm
Tamaño mín. de elemento	0 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	125043
Número total de elementos	74127
Cociente de aspecto máximo	323.59
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	9.32
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	69.4

**Ilustración 20 Detalle Malla**

La Ilustración 19 muestra la forma gráfica que se da para la Malla utilizada con la descripción encontrada en la Ilustración 17, donde se puede resaltar que es una malla de tipo sólida y está basada en curvatura y debido a la complejidad del mallado tuvo que realizarse a partir de la regeneración de la malla en piezas fallidas con malla incompatible.

- El análisis estático por elementos finitos permite realizar un estudio completo sobre la estructura, basándose en una serie de sujeciones, cargas y restricciones las cuales se aplicarán y sostendrán en un lapso de tiempo para evaluar el comportamiento de la pieza en las circunstancias planteadas y de esta manera arrojar unos resultados correspondientes al factor de seguridad de la estructura, las deformaciones y tensiones que puede presentar entre otras varias explicadas a continuación:

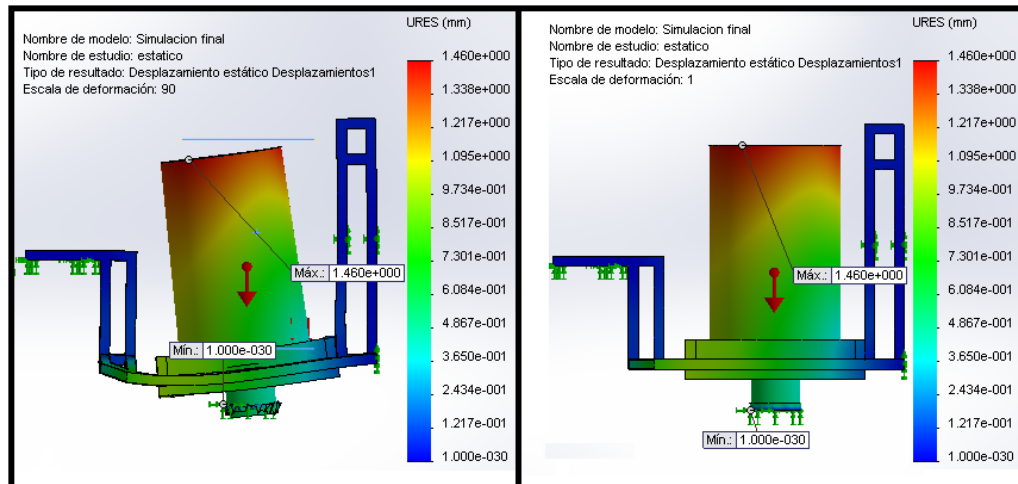


a) Escala 1:90

b) Escala 1:1

#### Ilustración 21 Simulación Gráfico de Tensiones

La ilustración 21 muestra el resultado gráfico para el análisis de las tensiones soportadas en los nodos a partir de las cargas aplicadas a la estructura que se encuentra apoyada en los soportes fijos mencionados antes; es posible observar que la tensión mínima es de 0 PSI y la Máxima Soportada es de 66.815,6 PSI ubicada en uno de los pernos superiores que une ambas plataformas, esto quiere decir que los pernos que se escojan deben soportar unos esfuerzos de corte y tensión bastante altos para brindar seguridad a la estructura y no incurrir en daños de la misma; la imagen A ubicada al lado izquierdo presenta una escala un poco mayor debido a que la imagen B no permite ver de forma fácil el lugar del desplazamiento y la forma del mismo al estar en escala real.



a) Escala 1:90

b) Escala 1:1

### Ilustración 22 Simulación Gráfico de Desplazamientos

La Ilustración 22 muestra los desplazamientos que se presentarán en la estructura en el momento de realizar el proceso de compactado, teniendo así que el mínimo será de 1 mm y el máximo de 1.4 mm correspondiente a una de las secciones superiores de la tolva cilíndrica la cual podemos identificar más precisamente con el color rojo. Igualmente se maneja el desplazamiento de 2 Escalas, la real y una escala a 90 que permite observar más detalladamente la forma de la deformación.

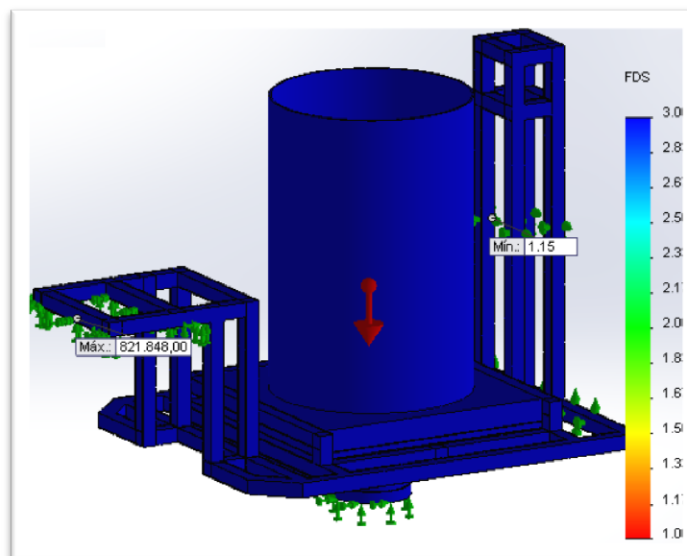
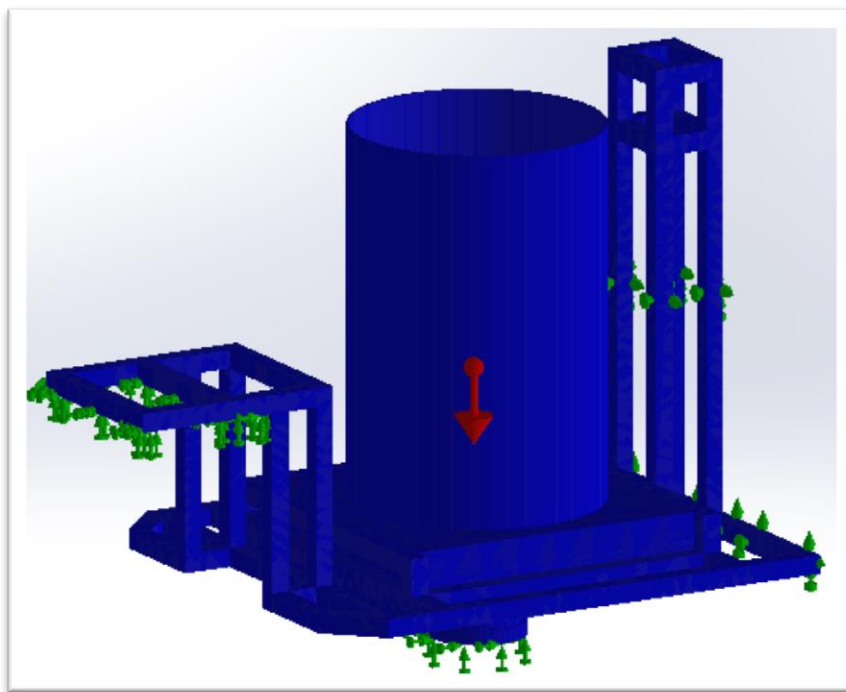


Ilustración 23 simulación Gráfico Factor de Seguridad

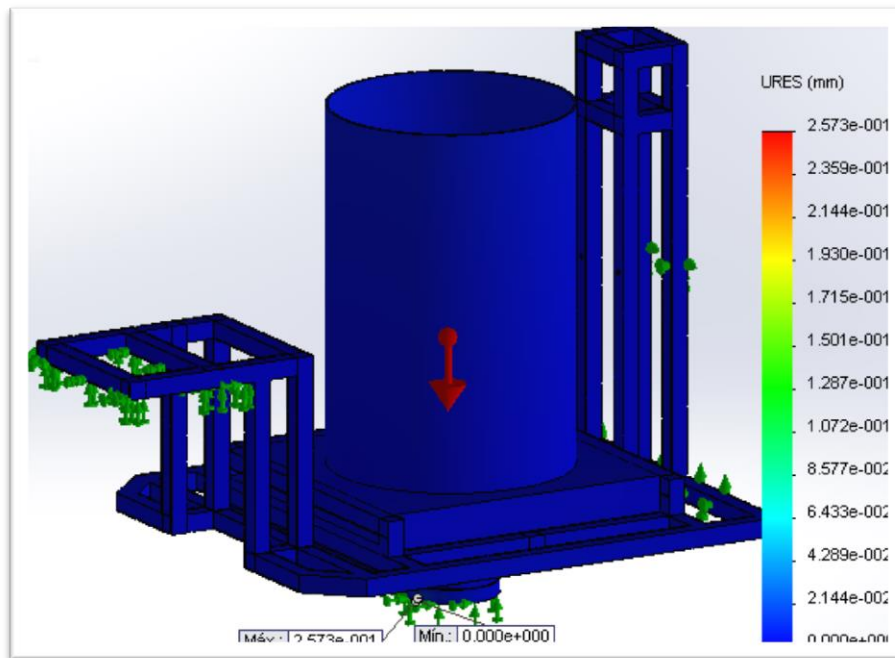
El Factor de Seguridad de una pieza, es aquel que me indica las posibilidades de falla existentes en la estructura en el momento de que se le aplican una serie de cargas, por ende se debe realizar tal estructura de la forma que su FDS sea superior a 1 garantizando así la confiabilidad de la misma sin realizar un sobredimensionamiento; para la estructura simulada se puede observar que el factor de seguridad mínimo es de 1.15 y se encuentra en la sección superior de la plataforma inferior, donde se unen con pernos pasadores ambas estructuras, por otro lado vemos que en general toda la estructura tiene un FDS bastante alto, así que es confiable el prototipo y su diseño satisface las necesidades planteadas para la simulación.



**Ilustración 24 simulación Trazado Comprobación de Fatiga**

El trazado de comprobación de fatiga muestra la estructura sometida a simulación de color azul, lo cual indica que está diseñada para resistir de alguna manera series de trabajo estático continuo de compactación durante jornadas específicas diarias de 6 horas, que la exijan al máximo y la lleven al límite de sus capacidades sin generar ningún daño; si el color mostrado fuera rojo, indicaría que en especial esas secciones de la estructura podrían sufrir fatiga y por ende debilitarse con el uso hasta generarse una fractura.

- El análisis de pandeo permite observar desde otro punto de vista el comportamiento de la estructura al ser sometida a unas cargas determinadas en el proceso de compactado así:

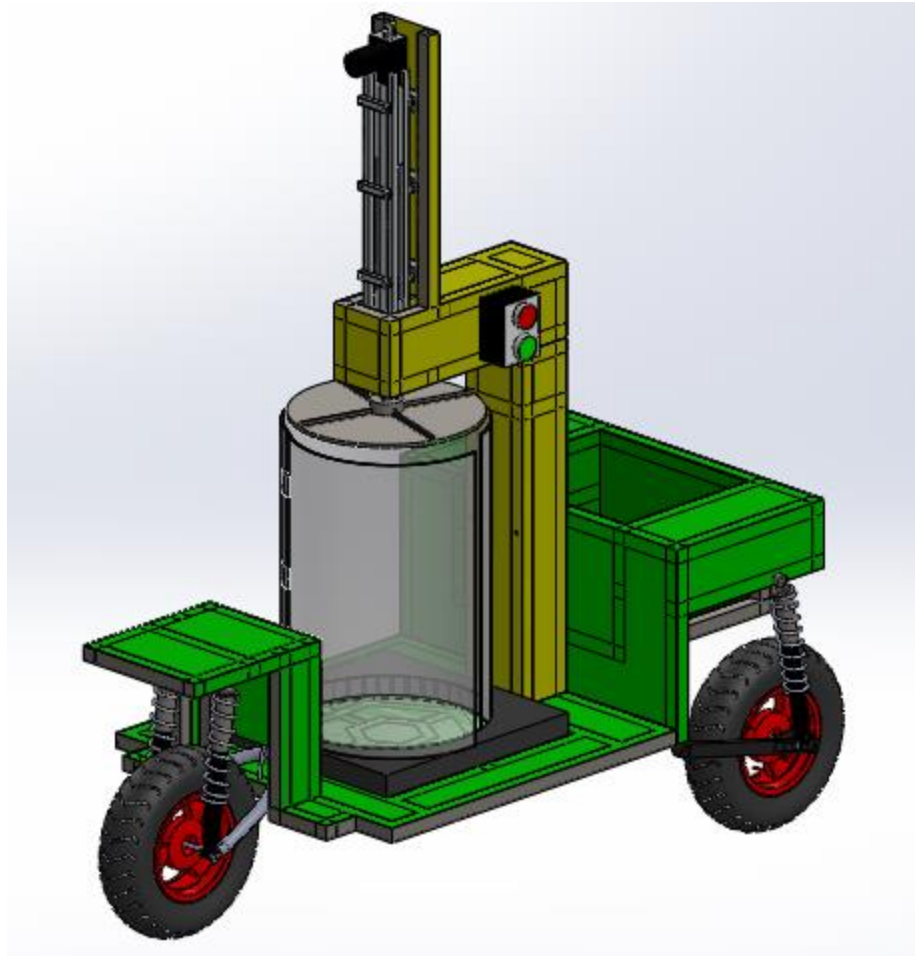


**Ilustración 25 simulación Pandeo Desplazamiento**

El desplazamiento detallado dado por la simulación del estudio de pandeo, muestra un desplazamiento máximo que no es muy superior al dado por el Estudio Estático, la única diferencia es el lugar de aplicación del mismo, pero a grandes rasgos los desplazamiento máximos se mantienen cercanos entre ambos estudios y no afectan de manera notoria la estructura durante su proceso de simulación de compactado.

### **3.2.5 VISTA GENERAL PROTOTIPO.**

La siguiente ilustración permite observar el diseño final del prototipo después de haber unido todas y cada una de las etapas de trabajo independientes, teniendo así un mecanismo Compactador de Forrajes que además de contar con un diseño estético y adecuado en dimensiones y peso, provee un desarrollo especial de 3 aplicaciones diferentes bajo el mismo principio de funcionamiento.



**Ilustración 26 Vista General Sistema Mecánico**

### **3.3 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA.**

El sistema de potencia se refiere al método, mecanismo y elementos que van a interactuar dentro de la estructura para generar el sistema de compactado independientemente si es neumático, eléctrico o hidráulico, además del método de alimentación del prototipo para lograr que cubra con las necesidades del aplicativo; Por esta razón se Subdivide en 3 categorías donde en una se realiza el proceso para determinar la fuerza de compactado necesaria, otra evalúa el Sistema que va a compactar y en la última la forma y método de alimentación así:

#### **3.3.1 CÁLCULO FUERZA DE COMPACTADO:**

Debido a que el proceso de compactado de forrajes es un método muy antiguo utilizado para la conservación de alimento para animales de



granja, existen muchas formas y procesos de hacerlo en donde el método de compactación y la fuerza utilizada varían de acuerdo a la necesidad, para el proceso que desarrolla el mecanismo se encontró que la Universidad Tecnológica de Pereira publicó un artículo donde mencionan unos valores adecuados los cuales se resaltan a continuación.

*“Una vez realizadas las pruebas de compactación, se encontró que las mejores opciones de trabajo se obtienen a una presión de 552 kPa (80 psi) debido principalmente a los siguientes aspectos:*

- ❖ *Se obtuvo una muy buena compactación del producto con lo que se logra una eficiente extracción del aire al interior del forraje.*
- ❖ *La consistencia del compactado es muy similar a la obtenida a 621 kPa y a 690 kPa, pero sin tanto consumo de potencia, lo que será vital a la hora del diseño del equipo.*
- ❖ *Se descartaron las presiones de compactado de 414 kPa y 483 kPa debido principalmente al bajo nivel de compactación que se obtiene en el forraje.” [39]<sup>16</sup>*

La lectura del artículo presentado por la Universidad Tecnológica de Pereira, indica que estos valores fueron determinados igualmente por pruebas de laboratorio a diferentes presiones con un actuador hidráulico de diámetro del émbolo de 2 pulgadas y bajo unas condiciones con características determinadas en el escrito.



**Ilustración 27 Tizón de Madera Utilizado en el Proceso Artesanal**

<sup>16</sup> M. J. H. López, J. M. Chaverria y H. F. Q. Rianza., «DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE:», Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín., vol. 2, nº 1, p. 10, 2008.

El proceso desarrollado en el hato lechero es netamente manual y consiste en apisonar con un tizón de madera el material que está ubicado en la sección circular de la bolsa, que se encuentra sujeta a una estructura guía de forma circular y de esta manera ejercer una presión al material, logrando así disminuir la presencia de oxígeno y lograr que se ubique de manera adecuada eliminando espacios vacíos, esta presión que se aplica viene limitada por el peso del tizón y la fuerza dada por el brazo de la persona encargada del proceso. Para el cálculo de la fuerza necesaria de compactado, se tuvieron en cuenta los datos experimentales dados por el estudio de la Universidad Tecnológica de Pereira y las dimensiones del eje del actuador.

$$Diametro_{Eje} = 32 \text{ mm}$$

$$Radio_{eje} = 16 \text{ mm}$$

$$P = \frac{F}{A_{Embolo}} = \frac{F}{\pi r^2}$$

#### **Ecuación 5 Presión de Compactado**

$$A = \pi r^2 = \pi (0.016)^2$$

$$A = 0.804247719 * 10^{-3} m^2$$

$$P = 80 \text{ PSI} = 551580,73 \frac{N}{m^2}$$

Como se cuenta con la información de Presión a aplicar y el área con la cual se va a aplicar, se procede a despejar la fuerza de la ecuación número 5, así:

$$F = P * A$$

$$F = (551580,73 \frac{N}{m^2}) (0.804247719 * 10^{-3} m^2)$$

$$F = 443.60 \text{ N}$$

Ya que la fuerza necesaria para realizar un buen proceso de compactado del material forrajero es de 443.60 Newtons o superior, se ve obligado a ubicar un actuador que esté en la capacidad de brindar esta fuerza sin importar si es neumático, eléctrico o hidráulico y que las dimensiones del eje sea la asumida anteriormente.



### 3.3.2 SISTEMA DE COMPACTACIÓN:

Las ventajas y desventajas encontradas en cada una de las opciones que se tienen para evaluar cuál de todas aplicarán mejor en el desarrollo del proceso, teniendo en cuenta características como dimensiones, costos, aplicabilidad, funcionalidad son:

NEUMATICO		HIDRAULICO		ELECTRICO	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
No se Afecta por los cambios de Temperatura	El Escape de Aire Produce Mucho Ruido	Transmision de fuerzas altas	Contaminacion del Entorno	Facil de Controlar	Potencia Limitada
Velocidad de Operación ALTA	Posicionamiento Impreciso	Posicionamiento Exacto	Dependencia de la Temperatura	Posicionamiento Muy Preciso	Velocidad de Operación Baja
El Aire Como fuente Principal de Energia se Consigue en todo lado	Dimensiones Del Sistema de Almacenamiento de Aire son muy Grandes	Dimensiones del Sistema de Almacenamiento Son Aceptables	Sensibilidad a la Suciedad	Medio de Alimentacion por Corriente Continua o Corriente Directa	
			Requiere Mantenimiento y cambio del fluido		
Mantenimiento no es Complejo	Transmision de Fuerzas Medias	Alta Capacidad de Carga	Velocidad de Operación Baja	Mantenimiento Bastante Sencillo	

Tabla 5 Ventajas y Desventajas Actuadores Sistema de Compactación<sup>17</sup> [40], [41].

La tabla anterior refleja algunas de las ventajas y desventajas sobresalientes con las que cuenta cada sistema de alimentación para los actuadores que van a compactar el material, por ende se estudian de manera rigurosa buscando las mejores alternativas posibles tanto en economía y tamaño y se llega a la conclusión de que el sistema neumático es el menos viable debido a las proporciones del mismo dentro de la estructura que relativamente es pequeña y las altas velocidades que no son necesarias, sin contar con lo impreciso que se puede volver; por otro lado se estudian los mecanismos hidráulicos y eléctricos para determinar sus bondades en el aplicativo ya que ambos cuentan con similitudes ventajosas en el desarrollo pero la cantidad de materiales y componentes varia, entonces se simulan ambos y posteriormente se escoge el indicado.

<sup>17</sup> Tabla Realizada por Gustavo Andrés Gil, con Información Obtenida de Diferentes Referencias.

## Sistema de Compactado Hidráulico:

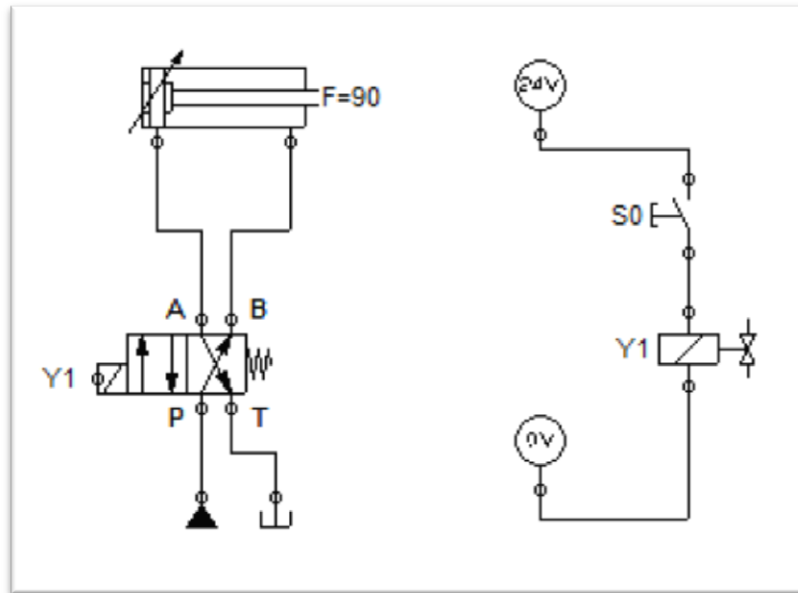


Ilustración 28 Sistema de Compactado Electrohidráulico<sup>18</sup>

El Sistema de compactado hidráulico consta de 2 Secciones bien definidas mostradas en la Ilustración 28, donde se encuentra a la derecha los componentes correspondientes a la conexión eléctrica y a la izquierda los componentes y actuadores hidráulicos que generaran el sistema de compactación.

### Descripción Componentes Hidráulicos:

- Cilindro Doble Efecto Hidráulico.
- Válvula de 4 Vías 2 Posiciones con Retorno por Muelle y Accionamiento Solenoide.
- Bomba Hidráulica y Grupo Motriz.
- Tanque Almacenamiento Fluido Hidráulico.
- Solenoide De Válvula.
- Switch Interruptor de Funcionamiento.
- Fuente 24 Voltios y Tierra.
- Sistema de Cableado y Líneas Hidráulicas.

<sup>18</sup> Simulación Realizada en FluidSim Hidráulica.

### Descripción Funcionamiento Sistema Hidráulico:

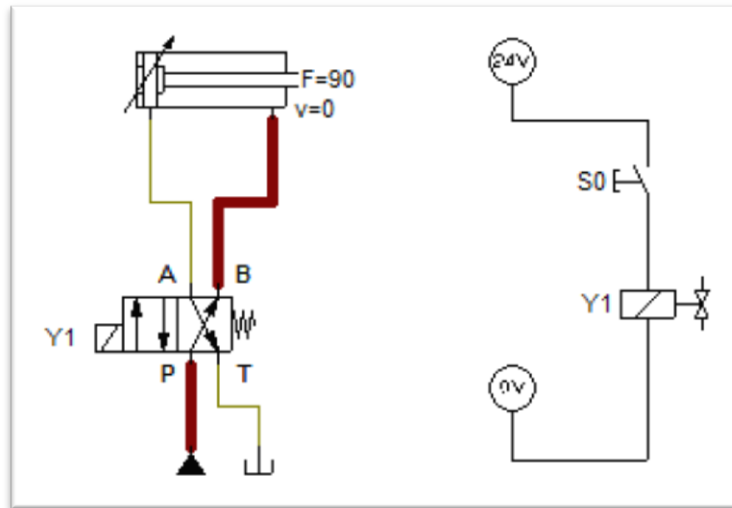


Ilustración 29 Sistema Hidráulico En Estado de Reposo

El Interruptor S0 al estar abierto, no permite el paso de corriente hacia la válvula solenoide, por ende el sistema se encuentra en estado de reposo y el cilindro doble efecto se ubica en la posición Inicial.

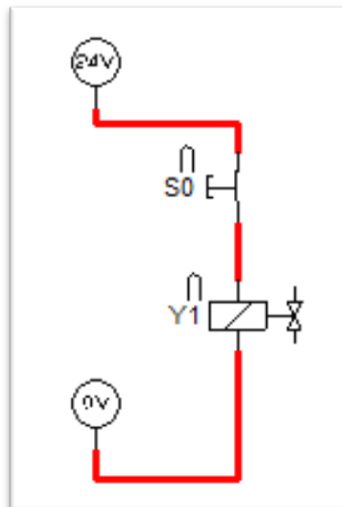
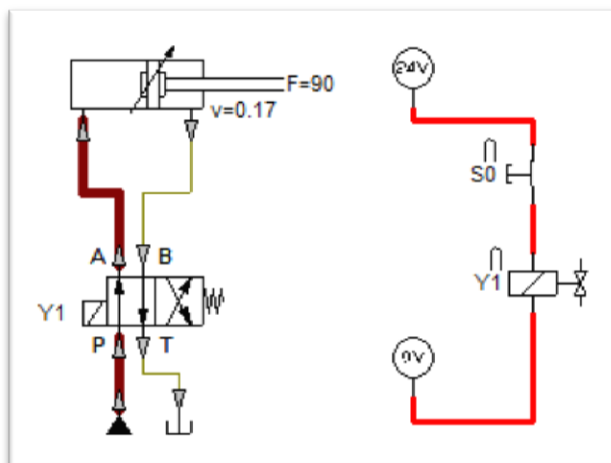


Ilustración 30 Accionamiento Eléctrico Sistema Hidráulico

El accionamiento del interruptor S0 permite el paso de corriente a la válvula solenoide y luego a tierra en donde vuelve e inicia el ciclo que alimenta el sistema de compactado hidráulico.



**Ilustración 31 Sistema Electro-Hidráulico en Funcionamiento**

La Ilustración 27 muestra el funcionamiento del sistema de compactación electro-hidráulico en donde por medio de una válvula solenoide se activa el fluido en una dirección determinada para que el actuador, cilindro de doble efecto compacte el material y apenas sea soltado el interruptor S0, el mismo actuador sea llevado a la posición inicial; como se observa en la imagen, la velocidad es relativamente lenta pero su precisión y fuerza son bastante altas, condición que favorece el compactado.

### **Sistema de Compactado Eléctrico:**

El sistema de compactado eléctrico es bastante sencillo y funcional ya que mezcla un actuador eléctrico con un pequeño sistema de alimentación de 12 voltios, permitiendo al dispositivo generar un movimiento lineal a partir de uno rotacional con un mando sencillo como lo es un par de botones o interruptores encargados de fijar la dirección de desplazamiento; debido a que no es posible simular el funcionamiento del actuador, se describen las especificaciones técnicas del actuador dadas por el fabricante y su principio básico de funcionamiento, Véase Anexo 9.3 CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ACTUADOR ELÉCTRICO.

Debido a la complejidad y cantidad de componentes presentes en el sistema hidráulico, además de lo costoso que pueden llegar a ser y las condiciones sobre las cuales tienen que operar, se decide escoger el sistema eléctrico para utilizar dentro del aplicativo y de esta manera ahorrar un porcentaje en costos

del prototipo; por esta razón se estudian los diferentes actuadores eléctricos capaces de brindar la fuerza necesaria para desarrollar el proceso de compactado.

Las empresas Americanas Firgelli Automations y Progressive Automations, líderes en el desarrollo de actuadores eléctricos para todo tipo de aplicaciones, presentan una lista bastante alta de actuadores eléctricos con diferentes recorridos y fuerzas de trabajo como los presentados a continuación.



Ilustración 32 Actuadores Firgelli Automations<sup>19</sup>



Ilustración 33 Actuadores Progressive Automations<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Imágenes y logo empresarial tomado de <http://www.firgelliauto.com/default.php?cPath=93>

Después de revisar las posibilidades dadas por las empresas y la necesidad presentada por el prototipo, donde el recorrido máximo debe ser de 80 cm y la fuerza mínima de 450 N, se procedió a importar el actuador eléctrico de 400 Lb F con recorrido de 30 pulgadas desarrollado por la empresa Firgelli Automations; aunque la fuerza de este actuador es superior, no fue posible conseguir en el mercado uno que tuviera el recorrido y la fuerza requerida, por ende se importó el actuador con el recorrido indicado y la fuerza un poco mayor.

### 3.3.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN:

El sistema de potencia utilizado para la alimentación de los componentes eléctricos presentados en el prototipo es bastante sencillo y práctico ya que por ser un mecanismo móvil se cuenta con la necesidad de tener igualmente un sistema de alimentación de la misma manera, es por esta razón que la alimentación proviene de una batería de 12 voltios x 12 amperios hora y la carga de la misma se genera a través de un cargador AC indicado, la explicación más detallada se presenta a continuación:

#### Alimentación DC

Consta de una Batería que sea capaz de suministrar la alimentación suficiente para generar el movimiento del actuador, por especificaciones técnicas del equipo se necesita una batería que suministre 12 Voltios por 10 Amperios de corriente, es por esta razón que se utiliza una batería 12 voltios x 12 amperios hora indicada en la siguiente figura.

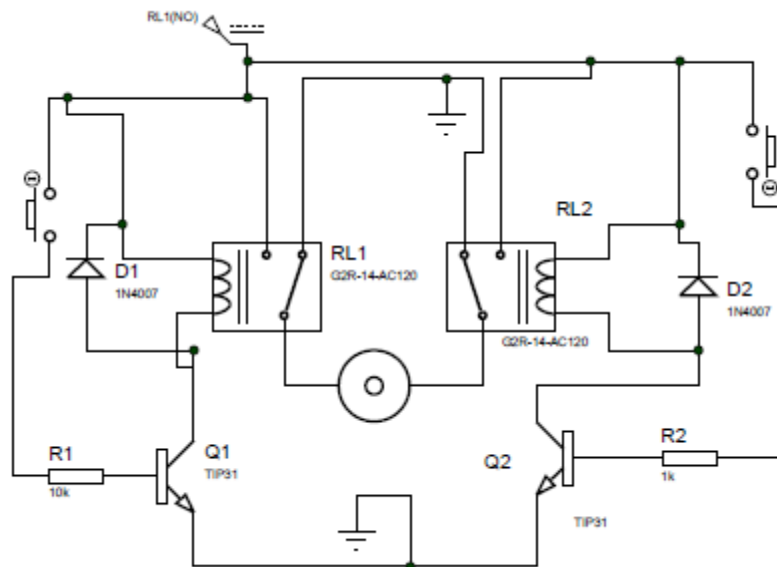


Ilustración 34 Batería 12 Voltios x 12 Amperios Hora

<sup>20</sup> Imágenes y logo empresarial tomado de <http://progressiveautomations.com/>

Debido a que el actuador eléctrico es un motor DC, se requiere de un sistema de control de giro que permita manipular ambas direcciones de recorrido del actuador por medio de botones o interruptores, es por ello que se diseñó un circuito denominado control de giro que a partir de un par de botones de potencia permite el movimiento hacia un lado y hacia el otro, Los componentes utilizados en el mismo son:

Resistencias de Potencia 10 Ohm 10 Amp  
Diodos de potencia 6 Amp.  
Relevos de Corriente 12 VDC 10 Amp.  
Borneras de 2 y 3 pines.  
TIP 41C.



**Ilustración 35 Simulación Control de Giro Proteus Isis**

El circuito mostrado en la ilustración anterior, evidencia como al accionar el interruptor del lado derecho el motor gira en un sentido y al soltarlo el motor se detiene, al accionar el interruptor del otro lado, el motor gira en dirección contraria igualmente hasta que se suelte el interruptor; El circuito PCB impreso para el funcionamiento del mismo viene dado por las siguientes dos ilustraciones.

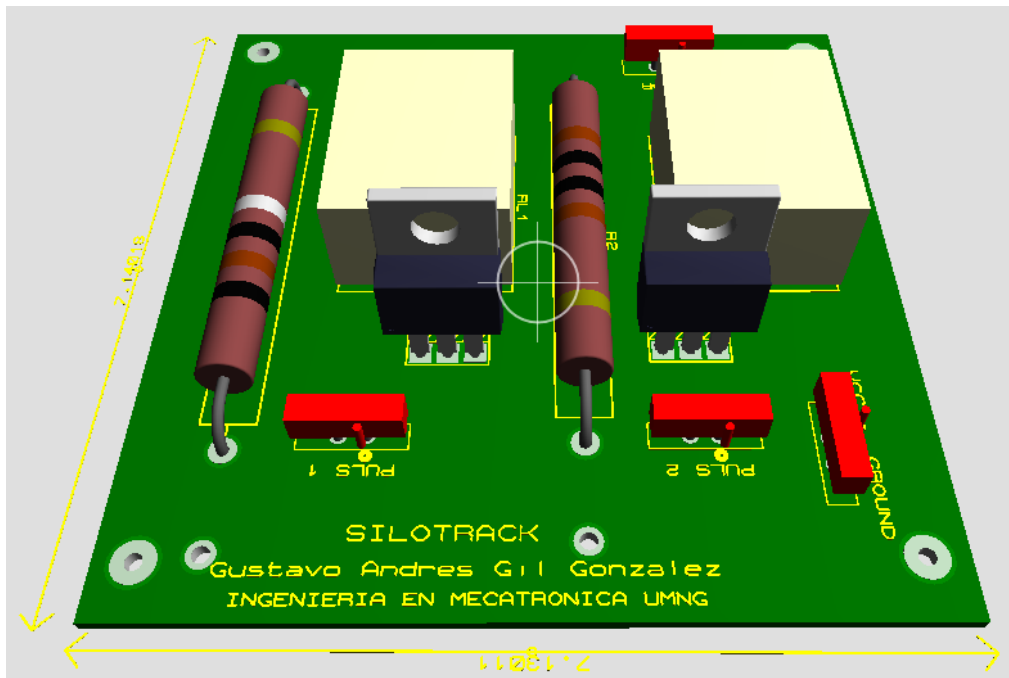


Ilustración 36 Visualización 3D PCB

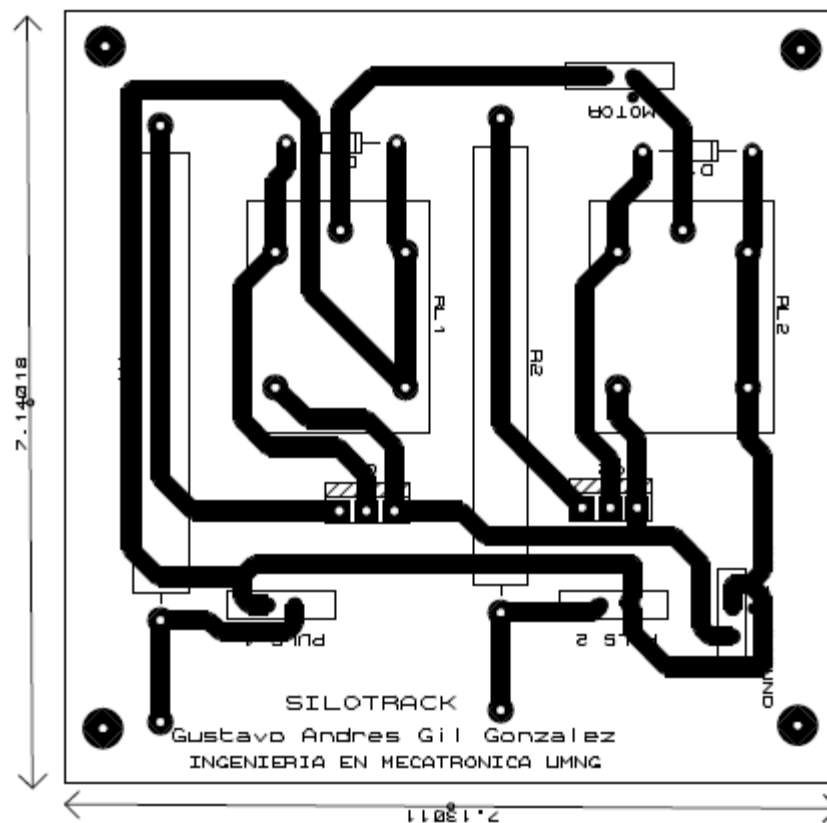


Ilustración 37 Control de Giro PCB impreso



## Alimentación AC

Consta de un equipo cargador que se encarga de alimentar la batería en caso de que se descargue durante el proceso de compactado, cabe decir que su uso es externo y se presenta en los momentos que el equipo no esté en funcionamiento, preferiblemente la carga de la batería se debe realizar en horas de la noche por cuestiones ambientales como de temperatura, humedad y debido a que son horas pertinentes donde el equipo no estará en uso ni en manipulación.



Ilustración 38 Cargador Batería 12 Voltios x 12 Amperios

### 3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y COMANDO.

El sistema de supervisión y comando se refiere al método y elementos que van a interactuar dentro del mecanismo compactador para realizar el proceso de compactado del material; Es bastante sencillo el aplicativo debido a que se cuenta con un par de interruptores para la operación del actuador, el cual es de tipo eléctrico y se debe a la facilidad de manejo del mismo además que cuenta con la fuerza suficiente para la realización del proceso de compactado; viene dado por un botón de inicio de color verde, encargado del recorrido que buscará hacer que el émbolo del actuador se desplace hacia abajo y compacte el material, mientras que otro botón de color rojo buscará el accionamiento contrario guardando el émbolo del actuador hasta su posición inicial.



**Ilustración 39 Caja de Mando Sistema de Compactado**

Debido a que la velocidad de compactado viene demarcada según las características dadas por el fabricante del actuador eléctrico, se tiene que es una velocidad relativamente pequeña y por estas condiciones de trabajo se decide no utilizar interruptor de emergencia ya que no se ve viable el uso del mismo.

## **4. IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

Esta sección implica lo relacionado con el método, materiales y lugar de construcción del prototipo y cada uno de los resultados obtenidos durante el proceso de implementación del mismo.

### **4.1 IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN SISTEMA MECÁNICO.**

La implementación y construcción del sistema mecánico, que consiste en las estructuras tanto superior e inferior realizadas en CAD además de todos los elementos como bujes, ejes, rodamientos y demás que hacen parte del conjunto y le dan forma a la parte mecánica, fueron desarrollados en el taller de mecanizado de la Universidad Militar Nueva Granada con ayuda de los laboratoristas del mismo, en el caso de la estructura mecánica fue realizada en perfil rectangular de Cold Roll de pulgada y media por calibre 16 y soldado en todas sus juntas con electrodos 60:13 a 3/32, lijada y pulida en el mismo taller para luego ser sometida a pintura electrostática anticorrosiva; a continuación se exponen imágenes resultantes del proceso de construcción de la estructura.

#### **4.1.1 PLATAFORMA SUPERIOR:**



**Ilustración 40 Plataforma Superior**

#### 4.1.2 PLATAFORMA INFERIOR:



Ilustración 41 Plataforma Inferior

#### 4.1.3 SOPORTE CENTRAL:

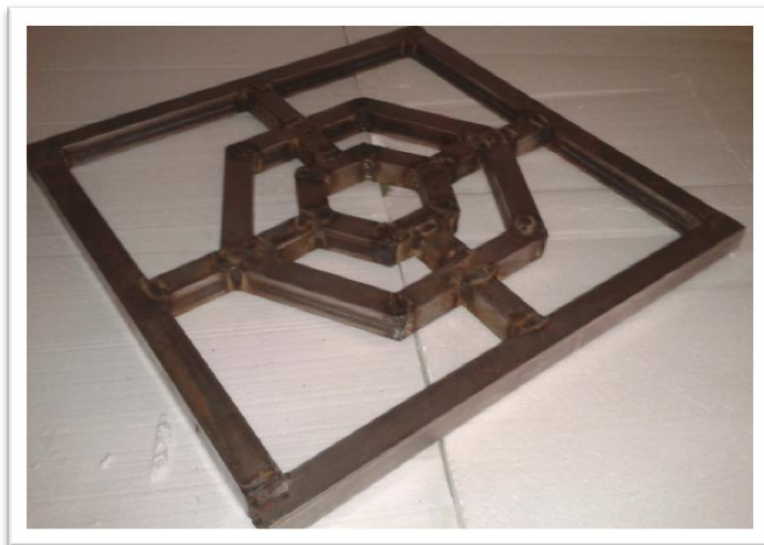


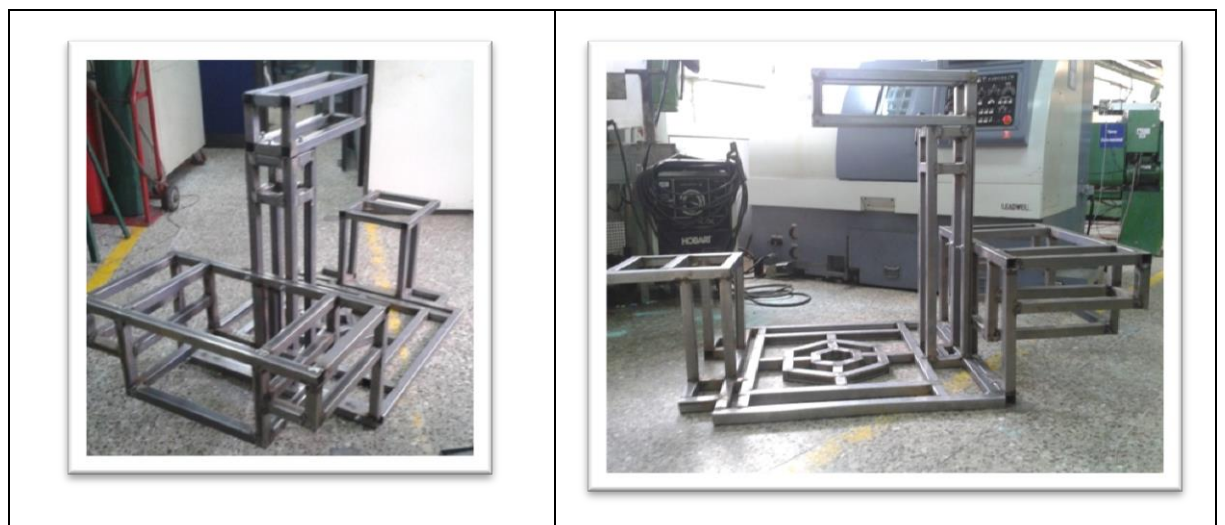
Ilustración 42 Soporte Central

#### 4.1.4 BRAZO SOPORTE ACTUADOR ELÉCTRICO:



Ilustración 43 Brazo Soporte actuador eléctrico.

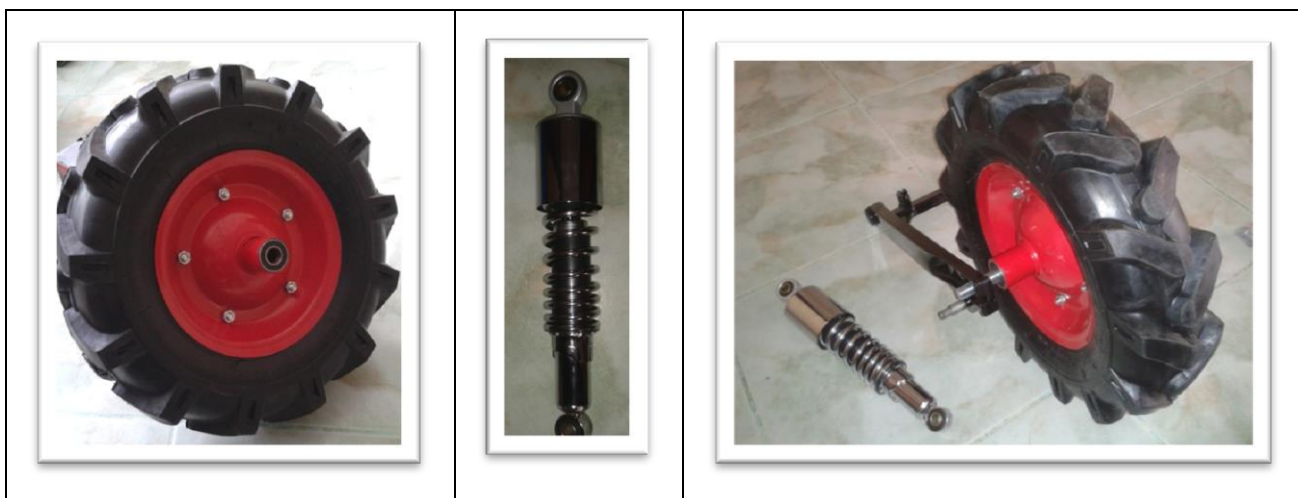
#### 4.1.5 CONJUNTO DE ESTRUCTURAS:





**Ilustración 44 Conjunto Ensamble Estructuras**

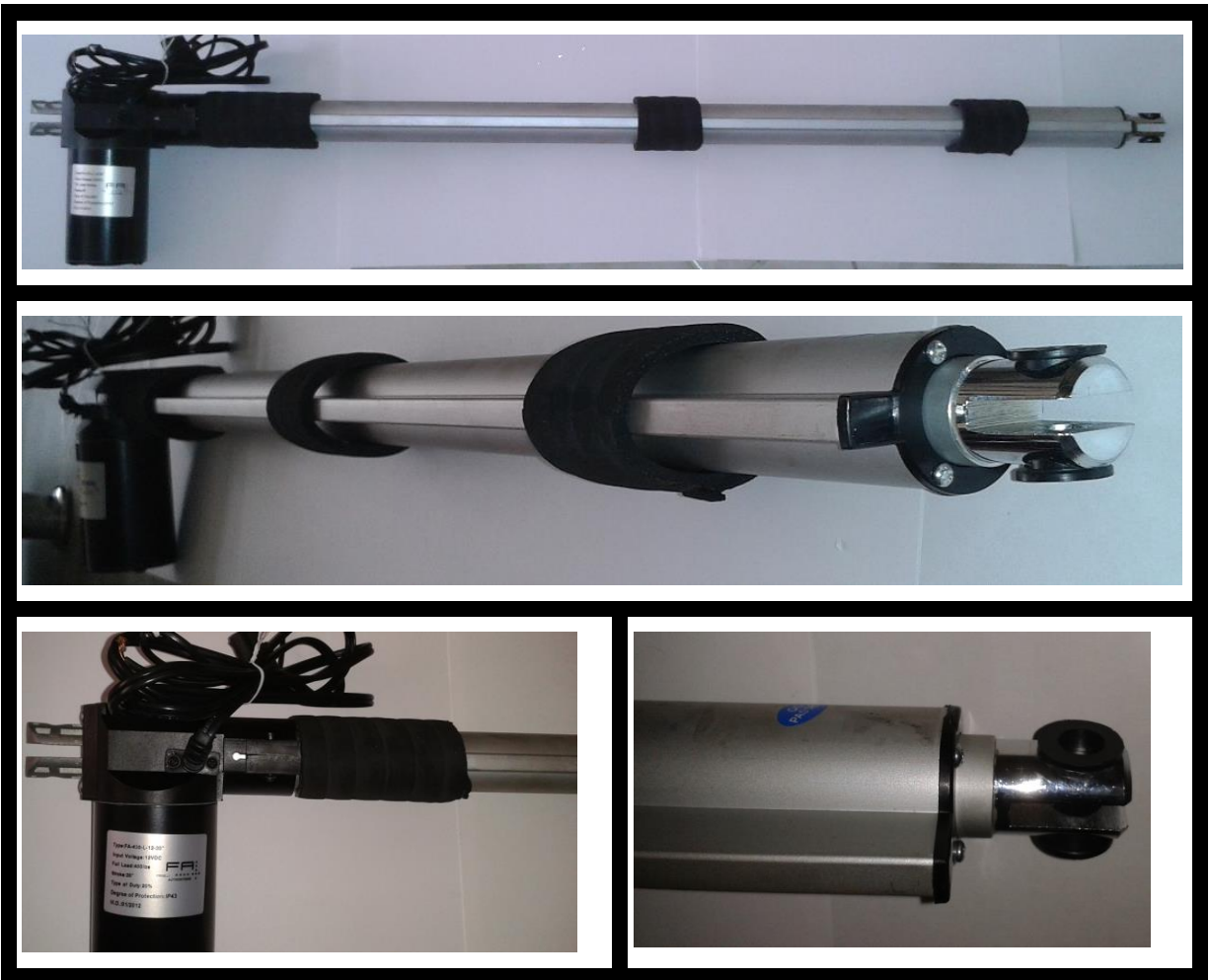
#### **4.1.6 SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN:**



**Ilustración 45 Componentes Sistema de Amortiguación**

#### **4.2 AJUSTE Y PRUEBAS ACTUADOR ELÉCTRICO.**

Debido a que el actuador eléctrico encargado del proceso de compactado fue comprado e importado desde los Estados Unidos, no fue posible realizar ninguna etapa de construcción del mismo, pero se trae a mención el hecho de realizar pruebas con el mismo antes de integrarlo en el conjunto del prototipo y se describe el método utilizado para sujetarlo al brazo soporte que se encargará de darle la dirección y la estabilidad en el momento de funcionamiento.



**Ilustración 46 Actuador Eléctrico 12 12**

Se diseñó una estructura con perfil de aluminio de ½ pulgada que sujeta, aprisiona y sirve de caja de protección para evitar cualquier golpe o abolladura del mismo durante su movilización, esta estructura liviana se sujetó con tornillos a un perfil de acero ubicado en el brazo de soporte diseñado para el actuador.

## **5. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

Las pruebas del prototipo fueron desarrolladas en Los terrenos del hato lechero ubicado en las fincas de San Agustín y el Sargento, en los municipios de Mariquita y Guayabal; Se desplazó el dispositivo hacia estos terrenos para realizar las pruebas en campo y corroborar el funcionamiento del prototipo bajo las condiciones dadas de temperatura, humedad y trabajo Continuo sobre las cuales se desarrolló el mismo.

### **5.1 PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD**

Se puso a prueba el prototipo bajo los 2 procesos de compactado diferentes que iba a realizar, además de un tercer proceso al cual se le dio aplicativo manteniendo el principio de funcionamiento del mismo, de esta manera se Realizaron las pruebas para:

- **Compactado Bolsa de Silo 50 Kg.**

Se adecuó el mecanismo según el manual de usuario y funcionamiento con la tolva indicada para desarrollar este proceso, Se Acomodó la Bolsa dentro de la tolva guía y se procedió a llenar de material forrajero, Compactando así el mismo y logrando así obtener la Bolsa del Peso Aproximado; Este Proceso se repitió durante 1 hora y permitió determinar la eficiencia de cantidad versus tiempo, y más importante aún la duración y consumo de la batería.

- **Compactado Paca de Heno 5 Kg.**

Se removió la tolva cilíndrica utilizada en el proceso de compactado de silo y se adecuó el prototipo con la tolva cuadrada para realizar el proceso de compactado de heno, donde las dimensiones y el peso son menores pero el principio de compactado y la fuerza del mismo es igual.

- **Compactado Estañon de Silo 60 Kg.**

Debido a que el estañon es una tolva realizada en polipropileno de alta densidad, se retiraron las guías utilizadas para las tolvas cilíndricas y cuadradas y se ajustó el estañon para poder realizar el proceso de compactado del material corroborando así el funcionamiento y la efectividad para este proceso.

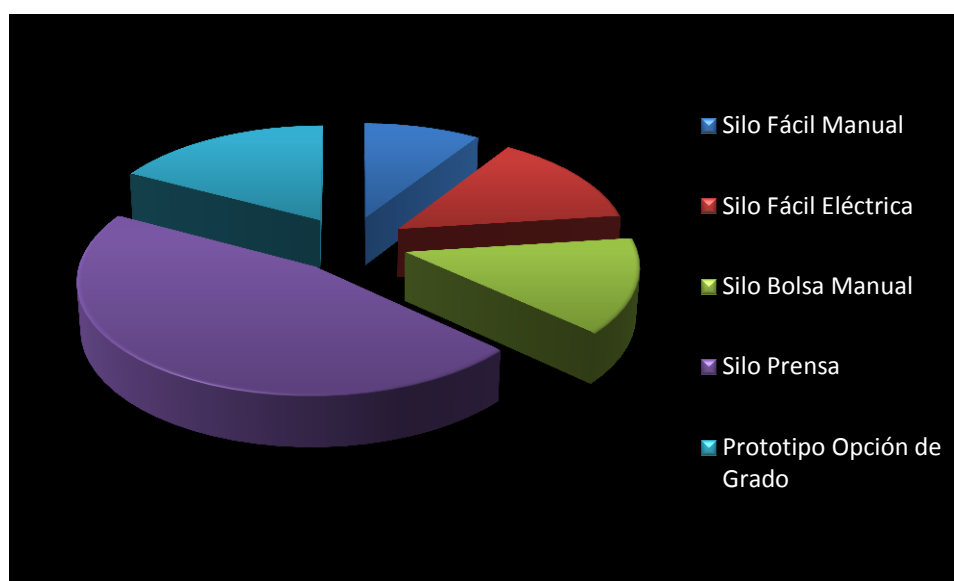


## 5.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- La densidad del material es constante y uniforme tanto como para las bolsas de silo de 45 Kg, las pacas de Heno de 5 Kg y los estañones de 60 Kg.
- La estructura del prototipo soporta y reacciona de manera adecuada a las cargas generadas por el actuador eléctrico durante el proceso de compactado; Las deformaciones son mínimas dentro de la estructura y los materiales escogidos, a simple vista es imposible determinar la deformación total.
- A pesar que el actuador soporta el peso del émbolo compactador, la corriente utilizada por el mismo dentro del proceso de compactado no supera los 6 amperios así que la batería aumentaría su rendimiento y duración, pero se espera que a largo plazo se vea reflejado un desgaste mecánico internamente del actuador.
- El momento generado por el actuador eléctrico soportado en el brazo anclado a la plataforma inferior, no genera grandes vibraciones ni movimientos en el equipo pero se recomienda su desplazamiento solo cuando el brazo se encuentre removido o recogido y ubicado en la plataforma superior.
- La eficiencia del prototipo se respaldó en la cantidad de material que fue capaz de compactar en 1 hora de trabajo continuo, estos resultados indicaron que es viable e importante hacer la inversión en mecanismos como estos debido a que incrementa la producción de bolsas de silo en un 50%, ya que en los mejores casos del hato lechero se estaban ensilando 7 bolsas entre 4 personas por cada hora de trabajo mientras que el prototipo logro ensilar 15 bolsas entre 2 personas por cada hora de trabajo.
- La eficiencia del prototipo viene determinada por la cantidad de material que es capaz de compactar en 1 hora de trabajo, la siguiente tabla y gráfica mencionan las características y eficiencias de los equipos con los cuales fue puesto a evaluación el prototipo e igualmente la eficiencia presentada por el mismo durante las pruebas realizadas.

	Silo Fácil Manual	Silo Fácil Eléctrica	Silo Bolsa Manual	Silo Prensa	Prototipo Opción de Grado
Rendimiento Ton/hora	0,4	0,6	0,6	2	0.75
Peso (Kg)	350	370	80	450	220
Cantidad Operarios	2	2	2	3	2

**Tabla 6 Características de Funcionamiento Equipos<sup>21</sup>**



**Ilustración 47 Rendimiento de los equipos Ton/Hora**

Como se puede observar en la ilustración 47, el mejor rendimiento viene dado por el equipo silo prensa, en segunda instancia el prototipo de opción de grado cuenta con un buen rendimiento; es importante definir el modo de funcionamiento ya que el de silo prensa trabaja con un motor trifásico y un tornillo sin fin que está en constante funcionamiento así que su consumo energético es bastante alto mientras que el prototipo se iguala en funcionamiento con los demás y este resalta por su rendimiento y su método de alimentación.

<sup>21</sup> Datos obtenidos directamente de las paginas web de cada uno de los equipos, especificaciones técnicas.  
 Silo fácil [http://invento.com.co/product\\_silo\\_1.html](http://invento.com.co/product_silo_1.html). Silo prensa <http://apyc.iimdo.com/equipos-para-ganaderia/silo-prensa-j10/>. Silo bolsa manual <http://colombia.nexolocal.com/p8966375-silo-bolsa-manual-980-000>.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo de grado se ha desarrollado un Prototipo funcional de un mecanismo compactador de forrajes el cual busca solucionar los problemas presentados en el campo colombiano inherentes a esta temática de almacenamiento de todo tipo de alimentos para animales de granja especialmente bovinos y equinos; el diseño preliminar y virtual del prototipo se desarrolló en solidworks donde se ajustaron tolerancias, medidas y dimensiones del mismo además de una extensa evaluación ante la herramienta de simulación donde se observaron los diferentes comportamientos de la estructura ante efectos de carga y descarga, fuerzas externas y movimientos generados por el usuario.

La validación de los datos dados por la simulación, se llevó a cabo mediante la implementación del prototipo a escala real, la cual permitió poner en funcionamiento el mismo y ejecutar las actividades para las cuales fue desarrollado, arrojando resultados satisfactorios en cuanto a las condiciones del compactado y la zona donde fue trabajado, cabe resaltar que por ser un prototipo está sujeto a posibles y futuras modificaciones que mejoren su rendimiento y calidad ahorrando costos y demás.

El prototipo respondió satisfactoriamente a cada una de las aplicaciones para las cuales fue diseñado y el material compactado aprobó el mecanismo ya que cumplió con las necesidades del usuario planteadas como objetivos del proyecto.

La estructura diseñada para soportar tanto el proceso de compactado y la fuerza generada por el actuador eléctrico como el sistema de amortiguación que permitirá el desplazamiento del dispositivo por terrenos de difícil topografía, cumplió con las características indicadas y se aprobó su diseño a partir de desplazamientos realizados en los terrenos del hato lechero y los resultados obtenidos del proceso de compactado.

El país cuenta con personal profesional capaz de plantear y desarrollar prototipos que busquen solucionar muchas de las necesidades presentadas no solo en el campo agrícola sino en la industria, es allí donde la habilidad de cada quien y la capacidad de estudio de negocio puede contribuir a mejorar la calidad de vida de los demás con productos nacionales sin necesidad de recurrir a importaciones o desarrollos de otros países.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] G. F. Calvete, «Factores que Afectan a la Calidad del ensilaje de Hierba y a la Planta de Maiz Forrajero en Galicia y Evaluacion de metodos de Laboratorio para la Prediccion de la Digestibilidad in vivo de la materia Organica de estos Forrajes Ensilados,» Madrid, 2004.
- [2] J. S. Garcia, «Maquina Enfardadora Automatica». España Patente U 860032, 16 Enero 1988.
- [3] C. Perez y F. Sanchez, «Maquina para producir Silos en Bolsa de hasta 100Kg». Colombia Patente 28 Marzo 2007.
- [4] M. J. Koelker, «Machine for loading Silage Bag». Estados Unidos Patente A01F 25/00 (20060101), 28 Agosto 2007.
- [5] L. S. Marcondes, «Manufacturing Process and End Product of Vacuum Packed Silage». Estados Unidos Patente US 2008/0193609 A1, 14 Agosto 2008.
- [6] R. J. A. LASORELLA, «MAQUINA MOLEDORA ENSILADORA DE CEREAL CON ALTA HUMEDAD». Argentina Patente M060105440, 30 Enero 2008.
- [7] (CATIE), Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Elaboración y Utilización de Ensilajes en la Alimentacion de Ganado Bovino, Primera ed., P. Chaput, Ed., Managua, 2009.
- [8] M. J. HERRERA, J. MEDINA y H. F. QUINTERO, «DISEÑO DE MÁQUINA PARA EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE:», *Scientia et Technica*, vol. I, nº 40, pp. 54 - 59, Diciembre 2008.
- [9] O. Nuñez y P. Serrano, 1999. [En línea]. Available: <http://www.mineduc.cl/biblio/documento/LibroCampo.pdf>. [Último acceso: martes Diciembre 2011].
- [10] FAO (Organizacion de las Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentacion,IT), 2003. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/007/x7660s/x7660s00.HTM>. [Último acceso: Martes Diciembre 2011]
- [11] R. V. Rojas, «Maquinas Para la Cosecha y Suministro de Forrajes,» Santiago, 2000.
- [12] L. S. Matta, «Estrategias Modernas Para la Conservacion de Forrajes en

Sistemas de Produccion Bovina Tropical,» *CORPOICA*, vol. 6, nº 2, pp. 69 - 80, Diciembre 2005.

- [13] H. C. Gil y J. B. Eusse, *El Ensilaje en la Alimentacion del Ganado Vacuno*, Primera ed., Tercer Mundo Editores, 2000.
- [14] E. C. Díaz, J. L. Z. Ramírez, L. A. L. Aguilar y G. T. G. Bonilla, «FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA PRODUCTO OVINOS,» Texcoco.
- [15] I. A. G. Clemente, 2008. [En línea]. Available: [www.ensiladores.com.ar](http://www.ensiladores.com.ar). [Último acceso: Jueves Diciembre 2011]
- [16] E. Moreno y N. Sueiro, 2009. [En línea]. Available: <http://www.fagro.edu.uy/~prodanim/cursos/PASTURAS%20CRS/Seminarios%202009/Conservacion%20de%20Forrajes.pdf>. [Último acceso: Martes Diciembre 2011].
- [17] H. C. Capella, S. M. Kerguelen, A. C. Ávila, A. R. Díaz y J. G. Peña., «Manejo Agronomico de Algunos Cultivos Forrajeros y Tecnicas Para su Conservacion en la Region Caribe Colombiana,» Cereté, Cordoba, 2003.
- [18] H. Castignani, L. Gastald y R. Zehnder, 2004 - 2005. [En línea]. Available: [http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/economia/costo\\_ensilar.pdf](http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gob.ar/rafaela/info/documentos/economia/costo_ensilar.pdf). [Último acceso:Viernes Diciembre 2011].
- [19] A. M. G. Molina, L. B. Roa, S. R. Alzate, J. G. S. d. León y A. F. B. Arango, «Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado,» *Revista Lasallista de Investigacion*, vol. 1, nº 1, pp. 66 - 71, Junio 2004.
- [20] C. Pérez, F. Sanchez y C. Nemocón, 2009. [En línea]. Available: [http://invento.com.co/product\\_silo\\_1.html](http://invento.com.co/product_silo_1.html). [Último acceso: Viernes Diciembre 2011].
- [21] I. A. P. Sotomayor, 2002. [En línea]. Available: <http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/extension/profeder/actualidad/bole89/enfardadora.htm>. [Último acceso: Viernes Diciembre 2011].
- [22] Centro de Recursos para la Transferencia Tecnológica ITACAB, «Enfardadora manual de heno,» Lima.
- [23] AGCO, Diciembre 2011. [En línea]. Available: [http://www.massey.com.br/espanhol/campo/campo\\_assunto.asp?idEdicao=67&idAssunto=340&idCampoAberto=1540](http://www.massey.com.br/espanhol/campo/campo_assunto.asp?idEdicao=67&idAssunto=340&idCampoAberto=1540). [Último acceso: Lunes Diciembre 2011]

- [24] ROTA TERRA Maquinaria Agroindustrial, Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.rotaterra.com/empresa.htm>. [Último acceso: Lunes Diciembre 2011]
- [25] Universidad Autonoma de Occidente, Programa de Ingenieria Mecatronica, Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://ingenieria.uao.edu.co/mecatronica1/DisenoMecatronico.html>. [Último acceso: Martes Diciembre 2011].
- [26] D. V. TUBAU, J. T. PICAS, P. G. SANTAMARIA y A. V. CHACON, *QFD APLICADO: COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN DE CARA AL MERCADO*, 2012.
- [27] SIEMENS, Diciembre 2011. [En línea]. Available: [http://www.plm.automation.siemens.com/es\\_sa/plm/definition/cad.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/definition/cad.shtml). [Último acceso: Diciembre 2011].
- [28] Festo, Diciembre 2011. [En línea]. Available: [http://www.festo.com/cms/es-co\\_co/9510.htm](http://www.festo.com/cms/es-co_co/9510.htm). [Último acceso: Martes Diciembre 2011].
- [29] SEAS (Estudios superiores abiertos), «Actuadores Neumaticos,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/2684435/ACTUADORES-NEUMATICOS>. [Último acceso: Martes Diciembre 2011].
- [30] J. P. H. Gallardo y F. J. V. Trujillo, «Accionamientos y Actuadores Hidraulicos,» La Rabidá, Espana.
- [31] L. V. Peña y J. A. Suarez, «INTERFASES Actuadores Electricos y Mecanicos,» 28 Septiembre 2008. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/6291040/Resumen-de-Actuadores-Electricos-y-Mecanicos>. [Último acceso: 29 Julio 2012].
- [32] N. V. Estrada y L. P. R. Becerra, «Automatizacion de la Maquina WP300 del Laboratorio de Materiales de la Universidad Militar Nueva Granada,» Bogotá, 2006.
- [33] SARH-OEA-CREFAL, «La Conservacion de Forrajes Mediante el Ensilaje,» Meseta Purépecha, Estado Mexicano de Michoacán, 1988.
- [34] Anonimo. [En línea]. Available: <http://ensilajecasero.galeon.com/aficiones1101235.html>. [Último acceso: Martes Diciembre 2011].
- [35] M. d. R. V. Piguave, «Evaluacion de diferentes Alternativas de Ensilaje de

Cascara de Gandul Para la Alimentacion Bovina,» Guayaquil, 2006.

- [36] W. P. Rincón. [En línea]. Available:  
<http://www.geocities.ws/elmerzinho/doc/avena.pdf>. [Último acceso: Miercoles Enero 2012].
- [37] A. M. Bianco, «Confeccion y Calidad de las Reservas Forrajeras,» Montevideo, 2009.
- [38] Departamento de Agricultura de la FAO, septiembre - Diciembre 1999. [En línea]. Available:  
<http://www.fao.org/docrep/005/X8486S/x8486s00.htm#Contents>. [Último acceso: Miercoles Enero 2012].
- [39] M. J. H. López, J. M. Chaverria y H. F. Q. Rianza., «DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE:,» *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.*, vol. 2, nº 1, p. 10, 2008.
- [40] cfievalladolid, «Plataforma Educativa CFIE de Valladolid,» [En línea]. Available:  
[http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr\\_01/robotica/sistema/actuadores.htm](http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/sistema/actuadores.htm). [Último acceso: 2012 Julio 31].
- [41] J. R. D. Solar y R. Salazar, «Sensores, Actuadores y Efectores,» Santiago de Chile, 2008.

## 8. TRABAJOS FUTUROS

En vista de que el proyecto de grado fue planteado como un prototipo y es el primero de su clase que vincula 3 aplicaciones distintas sobre una plataforma o estructura móvil, existen una serie de cambios que se pueden realizar para comodidad del usuario y optimización de costos; estas modificaciones se encontrarían de alguna manera sujetas a las condiciones de diseño y especificaciones dadas por las necesidades del usuario y vincularían las siguientes partes:

- Reducir las dimensiones mecánicas del prototipo haciéndolo más pequeño en cuanto al largo y el ancho, lo cual reduciría costos de material y sería más cómodo para su ubicación.
- Incluir dentro del sistema de alimentación un sistema AC en donde se pueda conectar el prototipo a una toma de Corriente continua si se encuentra en una bodega o un lugar cerrado que cuente con este tipo de distribución eléctrica, con eso se ahorraría el uso de la batería y sería solo en caso de su movilización a terreno exterior.
- Darle mayor rango de movilidad a la llanta delantera, permitiendo hacer así unos giros más pronunciados y dotar el sistema de un método de frenado manual durante la movilización que permita descender pendientes hasta de 45 grados.



## 9. ANEXOS

### 9.1 QFD (DESARROLLO EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD).

[illegible][illegible]

### Ilustración 48 Evaluación y Comparación de prioridades Mediante QFD.

COMPACTADORA DE FORRAJES				Opcion de Grado	Silo Facil 1	Silo prensa	Silo bolsa	Opcion de Grado	Silo Facil 1	Silo prensa	Silo bolsa	Opcion de Grado	Silo Facil 1	Silo prensa	Silo bolsa	
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Fácil de Desplazar por diferentes terrenos	4,6	4,5	3,5	3	4,6	2,75	3,75	3	4,75	3,3	4,25	3,85	
			Fácil de limpiar	4,3	4	3	4	4,15	3,7	3,4	3,75	4,1	3,9	4,3	4,15	
			Fácil mantenimiento	4,5	4	3,5	4,8	4,05	4,4	3,7	3,75	3,9	4,2	3,95	4,1	
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	4	4	3,5	4,5	2,75	2,75	2	4,75	3,75	3,75	2,75	4,75	
			No vibra	3,5	3,5	3	4	3,15	3,9	1,75	4	4,2	3,85	2,9	4,8	
			Vida util prolongada	4,5	4,5	4	4	4,7	4,7	3,9	3,4	4,55	4,3	4,4	4,25	
			Capacidad de carga alta	3,5	4	4,5	2,5	4,75	4,45	3,75	3,9	4,4	4,4	4	4,25	
			Velocidad Compactado	4,5	4,3	4,5	2,5	4,1	4,3	4,75	2,6	4,3	4,4	4,7	3,6	
			Capacidad de trabajo continuo	4	4	4,5	2,5	4,75	4,75	4,1	4,75	4,8	4,6	4,6	4,2	
			Materiales Rígidos	4,5	4	4	3,5	4,5	4,3	4,4	4,05	4,4	4,5	4,5	4,4	
			Liviano	4,5	4	3	4	4,4	2,25	2,75	2,75	4	3,95	3,9	3,95	
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	4,5	4,5	3,5	4,5	4,65	4,75	3,45	2,25	4,45	3,75	4,1	3,85	
			Fácil manipulación	4,5	4,3	3,5	4	4,4	4,3	3,65	3,15	4,55	4,2	3,9	3,75	
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño Estético	4,3	4	3,5	3	4,85	4,15	3,75	2,4	4,5	4,55	4	3,45	
			Adaptable a más de una aplicación	4,5	3,5	3,5	3,5	4,75	3,9	2,1	1,75	4,75	3,45	3,75	3,3	
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	4,3	4	3	3	4,45	4,2	2,75	2,8	3,75	3,85	3,9	3,8	
			Resistente a las variaciones ambientales	4	4	3,5	4	4,1	4,1	3,35	3,1	3,95	4,1	3,7	3,85	
	Apariencias	Colores neutrales			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
		Señalizaciones			4,5	4,3	4,3	3,5	4	3,8	3,4	2,9	4,3	4,45	4,05	3,4
		Buenos acabados			4,3	4	4	3	4,6	4,8	3,8	3	4,3	4,6	4,2	3,3
	Tiempo	Seis meses para desarrollarlo			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Costo	Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Manufactura	Elementos Comerciales			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Componentes de mecanizacion simples			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Seguridad	Boton de Emergencia			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Sistema de frenado			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Estable durante el trabajo a realizar			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Medio Ambiente	Bajo consumo Energía			4,5	4	3,5	4,8	4,7	4,3	3,4	4,8	4,4	4,1	3,6	4,7
		Materiales No Contaminantes			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

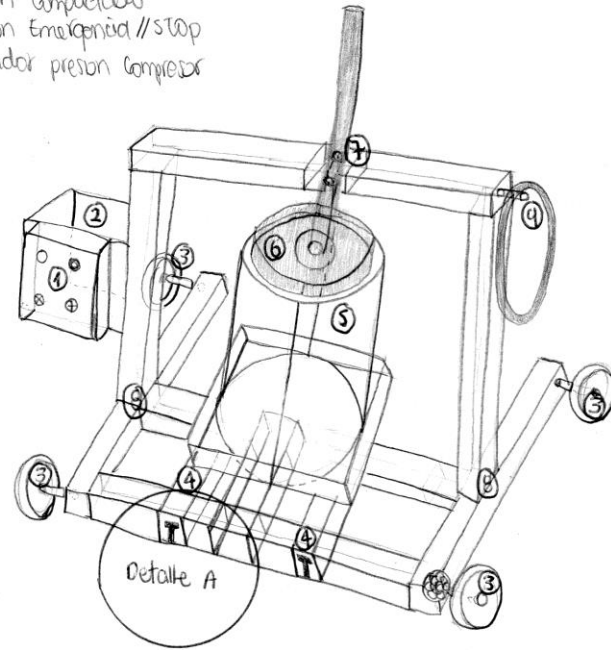
Tabla 7 Datos Numéricos Valoración Mecanismos<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Valoración realizada por el Ingeniero Agrónomo Hernán Augusto Salamanca, El ayudante de la finca Juan Pablo Hoyos y el Estudiante de Ing. Mecatrónica Gustavo Andrés Gil.

## 9.2 BOCETOS SISTEMA EN GENERAL.

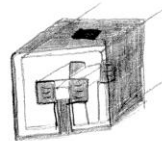
### ✓ BOCETO 1

- Botón compactado
- ⊗ Botón Emergencia // stop
- ⊕ Medidor presión compresor

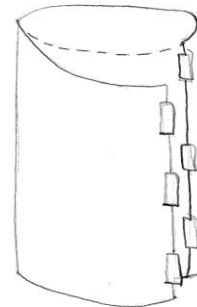


1. Caja de Supervisión y Comando
2. Ubicación Compresor
3. Sistema de tracción
4. Sistema Rieles Extracción Material
5. Cilindro de Almacenamiento
6. Embolo Rígido compactador Material
7. Cilindro Sencillo o de doble efecto para el accionamiento del embolo
8. Armadura Mecánica realizada en perfiles rectangulares huecos.
9. Banda de Caucho para asegurar la bolsa (silo) al recipiente de Almaceno

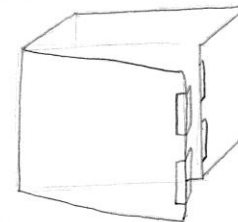
Detalle A.



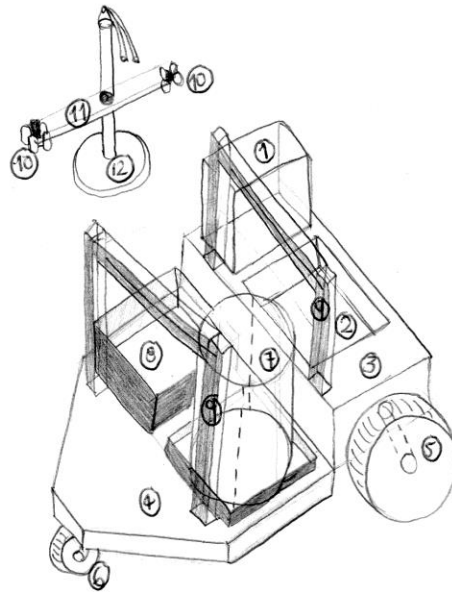
Sistema de patines sobre rieles para el desplazamiento de la plataforma sobre la cual se compacta el Material



Tolva de Almacenamiento Material a compactar, la es removable para colocarlo otro método de formación



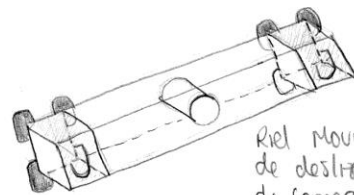
✓ BOCETO 2



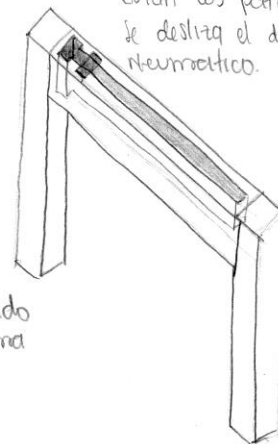
1. Caja de Supervision y comando
2. Espacio ubicacion Sistema Neumatico
3. Plataforma Superior
4. Plataforma Inferior
5. Sistema de tracción trasera
6. Rueda loca
7. Tolva Cilindrica Compactado Silos
8. Tolva Cuadrada Compactado Henes.
9. Rieles Guías sistema compactado
10. Sistema de pines.
11. Riel movil sistema compactado
12. Embolo compactador Material

- Boton Encendido
- Boton Compactado.
- ⊗ Boton Emergencia //stop.
- ⊙ medidor presion Aire.

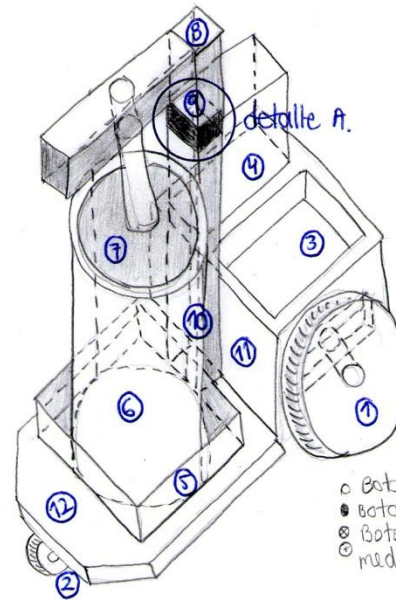
- 2 rieles paralelos a una altura h y una distancia de separación d entre los pines sobre los cuales se desliza el dispositivo Actuador Neumatico.



Riel Movil encargado de deslizar el sistema de Compactacion.



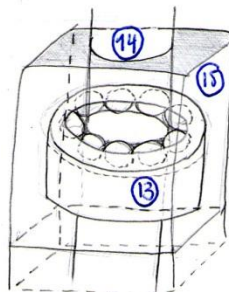
✓ BOCETO 3



1. Sistema de tracción Trasera
2. Sistema tracción delantera (Rueda loca)
3. Ubicación sistema Neumático
4. Caja de Supervisión y comando
5. Cajón Guía Tolvas.
6. Tolva Cilíndrica Compactado
7. Embolo Compactador Material
8. Estructura Móvil compactación
9. sistema de giro estructura compacte
10. Estructura Fija Compactación
11. Estructura soporte superior
12. Estructura soporte general inferior

○ Botón encendido  
● Botón Compactado  
⊗ Botón Emergencia // Stp  
⊙ medidor presión Aire.

Detalle A



13. Rodamientos de Aguja / Rodamientos de bolas
14. Eje union sist. fijo y sist. Móvil Estructura de Compactación
15. perfil Hueco de Ajuste Balinera o Rodamiento

COMPACTADORA DE FORRAJES				BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3	BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3	BOCETO 1	BOCETO 2	BOCETO 3	
Necesidades del Usuario	Funcionalidad	Movilidad y Mantenimiento	Fácil de Desplazar por diferentes terrenos	3,25	4,3	4,6	2,5	4	4,25	3	3,65	4,3	
			Fácil de limpiar	3,75	4,1	4,4	3,5	3	4	3,85	3,75	4,1	
			Fácil mantenimiento	3,85	4,1	4,4	3	3,25	4	4,1	4,1	4,15	
		Estructura y Funcionamiento	Silencioso	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			No vibre	4,1	3,85	4,25	4	3,75	4	4,25	4,4	4,35	
			Vida útil prolongada	4,4	4,4	4,4	4	4	4	4,5	4,5	4,5	
			Capacidad de carga alta	4,6	4,6	4,7	3,5	4,25	4,5	4,55	4,9	4,6	
			Velocidad Compactado	4,25	4,25	4,4	4	4,25	4,25	4,1	4,1	4	
			Capacidad de trabajo continuo	4,25	4,4	4,6	4	4	4	4,55	4,55	4,5	
			Materiales Rígidos	4,6	4,6	4,55	4,25	4	4	4,15	4,1	4,2	
			Liviano	3,85	3,95	4,5	3,5	4	4,5	3,75	3	4,2	
		Accesibilidad	Instrucciones de uso claras	4,75	4,6	4,4	4,5	4,5	4,5	4,7	4,7	4,7	
			Fácil manipulación	4,75	4,7	4,65	4	4,25	4,5	4,4	4,2	4,5	
	Lim. Espacio	Usuario	Diseño Estético	3,85	4,8	4,75	3,5	3,5	4	4,45	4,25	4,65	
			Adaptable a más de una aplicación	4,25	4,4	4,75	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
		Lugar de Trabajo	Tamaño moderado	3,6	3,95	4,7	3	4	4,5	4,8	4,3	4,75	
	Apariencias		Resistente a las variaciones ambientales	3,9	3,85	4,4	4	4	4,25	4,1	4,1	4,1	
			Colores neutrales	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Señalizaciones	4,2	4,1	4,25	4	4	4	4,25	4,25	4,25	
	Tiempo		Buenos acabados	4,3	4,3	4,45	3,5	4	4,5	4,5	4,5	4,5	
			Seis meses para desarrollarlo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Diseño y manufactura < 3.000.000 pesos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Costo	Manufactura	Elementos Comerciales	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Componentes de mecanizacion simples	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Seguridad		Botón de Emergencia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Sistema de frenado	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
			Estable durante el trabajo a realizar	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Medio Ambiente		Bajo consumo Energía	4,3	4,4	4,4	4	4	4,25	4,1	3,75	4,6	

Tabla 8 Evaluación Características Bocetos<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Evaluación Realizada por el Ingeniero Agrónomo Hernán Augusto Salamanca, El Médico Veterinario Hernando Salamanca y el Administrador de la Finca Juan Pablo Hoyos.

### 9.3 CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ACTUADOR ELÉCTRICO.


	Entrada	12VDC
	Capacidad de carga	400 lbs (Push and pull) estático 400lbs
	Acelerar	Aproximadamente 1/2 "por segundo (sin carga) 2/5" por segundo con carga
	Longitud de la carrera	Los tamaños estándar de carrera 3 "6" 9 "12" 18 "24" 30 "
	Montaje	Horquilla en extremo fijo, utiliza MB3 soportes en ambos extremos
	Interruptor limitador	Construir-en el móvil no
	Ciclo de trabajo	20%
	Consumo de corriente	Hasta 10 amperios a plena carga
	Cámara de Aire	Aleación de aluminio
	Grado IP	IP43
	Temperatura de la operación	-26degs C ~ 65degs C
	Certificado de seguridad	Certificado del CE

Ilustración 49 Especificaciones Técnicas Actuador Eléctrico

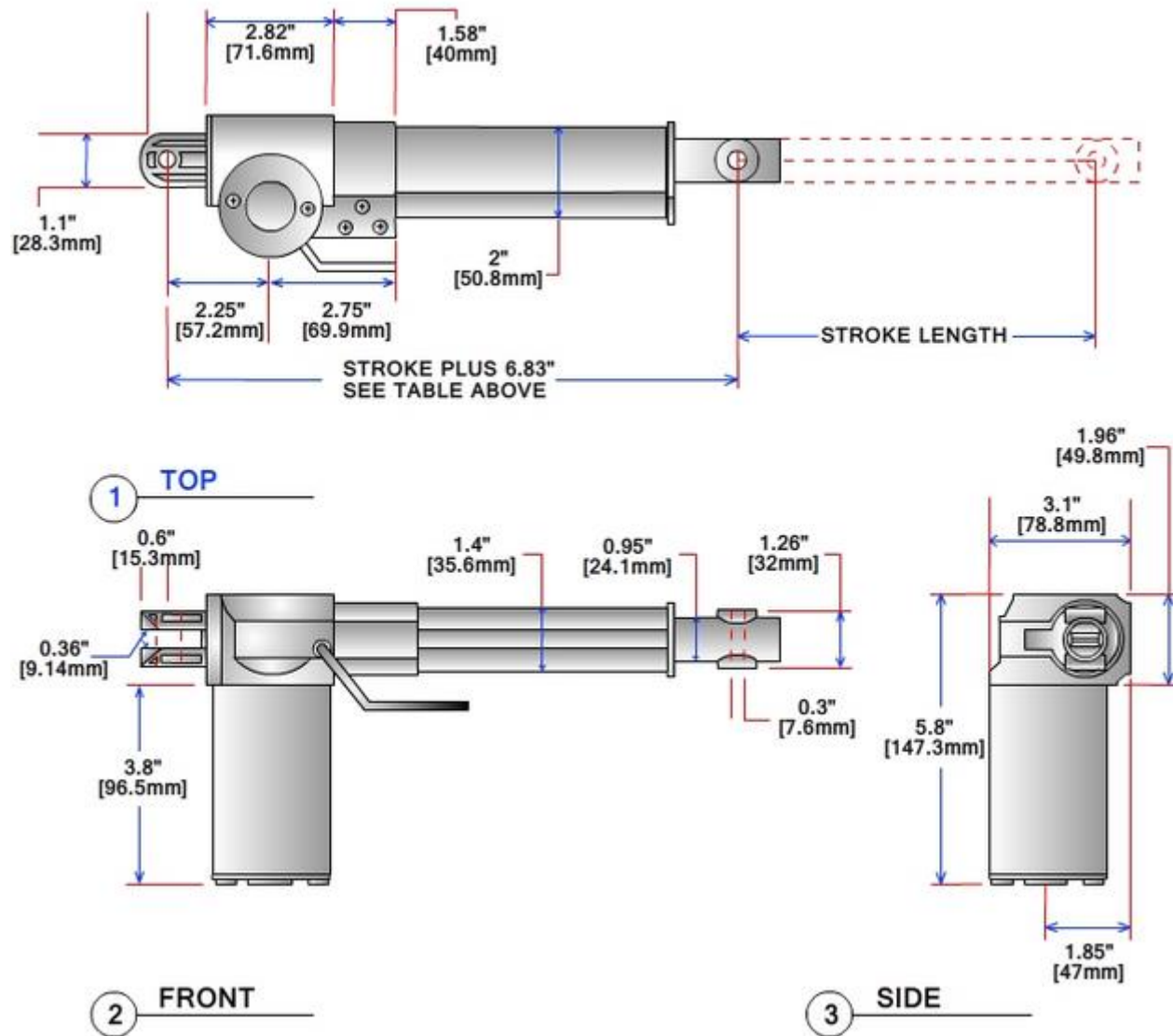


Ilustración 50 Planos y Dimensiones Actuador Eléctrico.